



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**“ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD PARA LA DOTACIÓN DE ELECTRICIDAD AL
AUDITORIO DE LA PARROQUIA SAN RAFAEL DE SHARUG MEDIANTE EL USO DE
ENERGÍA RENOVABLE”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO
A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTORA:

JENNIFER CAROLINA ORTIZ PARRA
C.I. 0301731816

DIRECTOR:

ING. JUAN LEONARDO ESPINOZA ABAD, PhD
C.I. 0102559325

CUENCA – ECUADOR
2017



RESUMEN

A pesar de su alto nivel de electrificación, Ecuador aun cuenta con comunidades rurales alejadas sin acceso a la energía moderna, lo cual ha incentivado la investigación de alternativas energéticas con la finalidad de abastecer la demanda sin provocar daños al ambiente. Tal es el caso de la parroquia San Rafael de Sharug, cantón Pucará, en donde ciertas comunidades alejadas del centro parroquial no tienen acceso a electricidad. Conjuntamente, esta parroquia es vulnerable en términos económicos y requiere una intervención para impulsar su desarrollo. Para ello, se ha planteado construir un complejo turístico sustentable que utilice energías renovables para abastecer sus necesidades energéticas. El presente estudio de pre-factibilidad busca explorar fuentes alternativas de energía que permitan desarrollar este proyecto y, a su vez, demostrar la potencialidad de las energías renovables para la futura electrificación de otras comunidades del cantón. Se realizó un monitoreo *in situ* del recurso eólico por un periodo de seis meses para obtener datos reales y encontrar la potencia energética del viento en el área. Adicionalmente se efectuó una prueba t-Student para comparar la variabilidad de las tendencias entre los datos levantados en la parroquia y los de una estación meteorológica cercana, para verificar que las propiedades del viento son únicas para cada sitio. Se determinó que la velocidad promedio del viento en San Rafael de Sharug es muy baja (0,96 m/s medidos a 15 metros sobre el nivel referencial del suelo) para poder aprovechar el recurso eólico mediante la tecnología disponible. Consecuentemente, se propuso un sistema solar fotovoltaico autónomo como alternativa, dada la existencia del recurso en el sector, mismo que registra una insolación global promedio anual de 4350 Wh/m²/día según el Atlas Solar del Ecuador. Para evaluar la factibilidad de esta propuesta se comparó los impactos ambientales, económicos y sociales del sistema solar fotovoltaico y de la extensión de red.

Palabras clave: viento, generadores eólicos, insolación solar, sistema solar fotovoltaico, Sistema Nacional Interconectado, energía



ABSTRACT

Despite its high level of electrification, Ecuador still has remote rural communities without access to electricity. This has encouraged the investigation of alternative energy sources in an attempt to satisfy the demand without causing environmental impacts. San Rafael de Sharug is a parish in the Pucará canton that has certain unfavorable conditions such as lack of electricity in certain communities and low economic activity. In order to impulse its growth and offer a higher quality of life to the residents of this parish, a self-sustaining tourism complex that focuses on the use of alternative technologies as the main energy source was proposed. This pre-feasibility study explores energy alternatives that will allow for the execution of this tourism project and show that renewable energies are a promising option for the future electrification of other communities in the region. Six months of an on-site weather monitoring of wind patterns was performed in order to obtain reliable data and be able to calculate the wind power potential in the area. A Student t-test was conducted to compare the variability among wind tendencies between this parish and another nearby weather station in order to verify the notion that wind characteristics are unique for each region. We found that the mean wind speed for San Rafael is too low (0.96 m/s measured at 15 meters above ground reference level) to be able to harness the wind power with the available technologies. As a result, we proposed the installation of an autonomous solar photovoltaic system as an alternative since the solar radiation in the region is promising with an annual average of 4350 Wh/m²/day according to the Ecuadorian Solar Atlas. In order to validate this proposal, we compared the environmental, social and economic impacts of this system with that of the national interconnected grid.

Key words: *wind, wind generators, solar insolation, solar photovoltaic system, national interconnected grid, energy*



CONTENIDO

RESUMEN.....	2
ABSTRACT	3
ILLUSTRACIONES	6
TABLAS	6
GRÁFICOS.....	7
1. INTRODUCCIÓN	11
1.1 Planteamiento del problema	11
1.2 Justificación del estudio	12
1.3 Objetivos del estudio	12
Objetivo General.....	12
Objetivos Específicos:	12
2. CONTENIDO TEÓRICO.....	13
2.1 Bases teóricas.....	13
2.2 Bases legales	18
2.3 Aplicaciones de las energías renovables	20
3. CASO DE ESTUDIO Y MARCO METODOLÓGICO.....	27
3.1 Introducción	27
3.2 Localización del proyecto	27
3.2.1 Contexto geográfico.....	27
3.2.2 Contexto económico	28
3.3.3 Contexto social	29
3.3 Centro de Desarrollo Comunitario	30
3.4 Investigación de disponibilidad del recurso eólico	31
3.4.1 Técnica e instrumentos de recolección de datos	32
3.4.2 Descripción de metodología para determinar potencialidad eólica.....	34
3.5 Investigación de disponibilidad del recurso solar	36
3.5.1 Técnica e instrumentos de recolección de datos	37
3.5.2 Metodología	37
4. MEMORIA TÉCNICA	41
4.1 Determinación de la Demanda Eléctrica del Proyecto	41
4.2 Técnica de procesamiento de datos.....	45
4.2.1 Levantamiento de información	48
4.3 Presentación de resultados	50
4.4 Conclusión	58
5. PROPUESTA	59
5.1 Descripción de aprovechamiento solar en la zona.....	59
5.1.1 Justificación	59
5.2 Técnica de procesamiento de datos.....	59
5.3 Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico.....	61



5.3.1 Baterías y módulos fotovoltaicos	61
5.3.2 Accesorios complementarios.....	63
5.4 Esquemas de instalación	64
6. EVALUACIÓN DE PROPUESTA	66
6.1 Evaluación económica	66
6.1.1 Inversión en sistema fotovoltaico	66
6.1.2 Costos de mantenimiento	66
6.1.3 Costos de formar parte de red eléctrica	67
6.1.4 Justificación de inversión	69
6.2 Evaluación de impacto ambiental	72
6.2.1 Procedimiento de manejo de baterías	74
6.3 Evaluación Social	74
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	76
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
ANEXOS	83
Anexo 1. Diseño eléctrico preliminar	83
Anexo 2. Potencialidad del Viento para Provincia del Azuay	84
Anexo 3. Mapas Topográficos de San Rafael de Sharug	86
Anexo 4. VantageVue Wireless Weather Station	87
Anexo 5. Resumen Presupuestario de Linea Rural Monofásica	88
Anexo 6. Datos recolectados	89



ILLUSTRACIONES

Ilustración 1- Comparación de fuentes energéticas a nivel mundial (1973 – 2014)	21
Ilustración 2 - Ubicación geográfica de San Rafael de Sharug	28
Ilustración 3 – Corte longitudinal del auditorio	31
Ilustración 4 – Estado de construcción de la obra hasta diciembre del 2016	31
Ilustración 5 - Índice de deformidad Putnam-Griggs y rango de velocidad de viento asociado	32
Ilustración 6 – Ejemplo de una rosa de vientos	34
Ilustración 7– Ejemplo de la Distribución de Weibull	36
Ilustración 8 – Velocidad del viento a 50 m.s.n.m. del Atlas Eólico del Ecuador especificando San Rafael de Sharug	46
Ilustración 9 - Mapa topográfico de San Rafael de Sharug	47
Ilustración 10 - Vista panorámica Este – Sur desde punto de construcción del auditorio	47
Ilustración 11 - Vista panorámica Oeste – Norte desde punto de construcción del auditorio	48
Ilustración 12 - Vista hacia el noroeste de la ubicación de los puntos críticos.....	48
Ilustración 13 - Vista hacia el Oeste (derecha) y panorama hacia el Este (izquierda) desde la estación meteorológica	49
Ilustración 14 – Insolación Global Promedio para Enero del Atlas Solar del Ecuador enfocado en la región sur del Azuay	60
Ilustración 15 - Esquema unifilar de la instalación fotovoltaica autónoma para el auditorio de San Rafael de Sharug	64
Ilustración 16 - Esquema detallado de la instalación fotovoltaica autónoma para el auditorio de San Rafael de Sharug	65
Ilustración 17 – Distancia entre Barrio La Castellana y el auditorio	68

TABLAS

Tabla 1– Evolución de fuentes y generación energética entre 2011 y 2015	22
Tabla 2- Centrales hidroeléctricas incorporadas en 2016	23
Tabla 3 – Proyectos Solares Fotovoltaicos de mayor potencia en el Ecuador	24
Tabla 4 - Escala de Beaufort.....	32
Tabla 5- Descripción de los equipos a ser instalados en el auditorio	41
Tabla 6 - Perfil de demanda energética para los domingos.....	42
Tabla 7- Perfil de demanda energética de lunes a jueves	43
Tabla 8 - Perfil de demanda energética para los viernes.....	43
Tabla 9 - Perfil de demanda energética para los sábados	44
Tabla 10 – Prueba t de student para los datos de las estaciones Huascachaca y San Rafael de Sharug....	51
Tabla 11- Promedio neto de la velocidad del viento para el periodo de mayo hasta noviembre del 2016	57
Tabla 12 - Insolación mensual promedio para San Rafael de Sharug.....	60
Tabla 13- Descripción técnica de baterías	61
Tabla 14 – Descripción técnica de paneles solares.....	61
Tabla 15 - Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico mediante el método simplificado	62



Tabla 16 - Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico mediante el método propuesto por el CONELEC	62
Tabla 17 - Descripción técnica de regulador.....	63
Tabla 18 - Descripción técnica de inversor de corriente	63
Tabla 19 – Presupuesto de equipos del Sistema solar fotovoltaico	66
Tabla 20 - Presupuesto de extensión de la red eléctrica pública	69
Tabla 21 – Gasto total de un sistema solar fotovoltaico en un periodo de 20 años	69
Tabla 22 – Gasto total de formar parte de la red eléctrica pública para un lapso de 20 años.....	70
Tabla 23– Cálculo de VAN y TIR para el auditorio de San Rafael de Sharug.....	71
Tabla 24 – Análisis de sensibilidad para extensión de red.....	72

GRÁFICOS

Gráfico 1– Perfil de demanda energética por día de la semana.....	44
Gráfico 2 - Perfil de demanda energética horaria	45
Gráfico 3- Comparación entre las velocidades del viento de las estaciones Huascachaca y San Rafael de Sharug	51
Gráfico 4 - Promedio diario de la velocidad del viento para el mes de mayo del 2016	52
Gráfico 5 - Promedio diario de la velocidad del viento para el mes de junio del 2016	52
Gráfico 6 - Promedio diario de la velocidad del viento para el mes de julio del 2016	52
Gráfico 7 - Promedio diario de la velocidad del viento para el mes de agosto del 2016	53
Gráfico 8 - Promedio diario de la velocidad del viento para el mes de septiembre del 2016.....	53
Gráfico 9 - Promedio diario de la velocidad del viento para el mes de octubre del 2016	53
Gráfico 10 - Promedio diario de la velocidad del viento para el mes de noviembre del 2016.....	54
Gráfico 11 - Promedio mensual de la velocidad en San Rafael de Sharug	54
Gráfico 12 - Promedio horario de la velocidad del viento desde mayo hasta noviembre del 2016.....	55
Gráfico 13 - Frecuencia del viento desde el oeste	56
Gráfico 14– Frecuencia del viento desde el este	56
Gráfico 15 - Rosa de vientos para la estación meteorológica de San Rafael de Sharug	57



CLAUSULA DE DERECHO DE AUTOR

Yo, Jennifer Carolina Ortiz Parra, autora de la tesis "ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD PARA LA DOTACIÓN DE ELECTRICIDAD AL AUDITORIO DE LA PARROQUIA SAN RAFAEL DE SHARUG MEDIANTE EL USO DE ENERGÍA RENOVABLE", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención del título de Ingeniero Ambiental. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora.

Cuenca, 11 de mayo de 2017


Jennifer Carolina Ortiz Parra
C.I. 0301731816



CLAUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Yo, Jennifer Carolina Ortiz Parra, autora de la tesis “ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD PARA LA DOTACIÓN DE ELECTRICIDAD AL AUDITORIO DE LA PARROQUIA SAN RAFAEL DE SHARUG MEDIANTE EL USO DE ENERGÍA RENOVABLE” certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 11 de mayo de 2017


Jennifer Carolina Ortiz Parra
C.I. 0301731816



AGRADECIMIENTO

*A los chechos por siempre guiarme
y motivarme a alcanzar mis sueños.
Lo que he logrado ha sido para ustedes.*

*A mi tutor, Ing. Juan Leonardo Espinoza,
por compartirme sus valiosos conocimientos
y confiar en este proyecto. Su ayuda ha
sido inigualable.*

*A los seres que me han acompañado
durante este trayecto,
les quiero con todo mi corazón.*



1. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

La parroquia San Rafael de Sharug está ubicada al sur de la provincia del Azuay y forma parte del Cantón Pucará. Esta es una región sensible en términos de desarrollo territorial al caracterizarse por tener un bajo índice económico y una elevada tasa de migración. Conjuntamente, existen comunidades lejanas que carecen de energía eléctrica y sufren de una baja calidad de vida. Estas condiciones incentivan el desarrollo de proyectos innovadores que se enfoquen en transformar al territorio de manera positiva. Al reconocer la importancia de plantear propuestas que satisfagan las necesidades de la parroquia e impulsen el desarrollo de los miembros de la comunidad, el GAD parroquial de San Rafael de Sharug ha planteado un proyecto turístico enfocado en auto sustentabilidad, que busca incentivar el uso de las energías renovables en la parroquia mientras incrementa la actividad económica de la región.

Por otro lado, la dependencia de la sociedad moderna en combustibles fósiles ocasiona ciertos conflictos y efectos nocivos a nivel mundial. Según el British Petroleum Statistical Review of World Energy, el 86% de la energía consumida a nivel mundial en el 2014 provino de fuentes no renovables (petróleo, gas natural y carbón), y el consumo de petróleo se sigue incrementando a nivel mundial mientras las reservas disminuyen cada vez más (British Petroleum, 2015). Naciones en vías de desarrollo marcan significativamente la demanda de energía en la actualidad (Gonzales, 2008). En el Ecuador, por ejemplo, se estima que se consumirá alrededor de 26.542 GWh de energía en el 2022, en comparación a 20.362 GWh consumidos en el 2016 (Consejo Nacional de Electricidad, 2013a), mientras su reserva de petróleo disminuye rápidamente. Nuestra baja reserva petrolera y la permanente variabilidad del precio del barril hacen que el crudo sea un recurso inestable y conflictivo, incapaz de brindar un desarrollo económico sostenible o satisfacer nuestras necesidades energéticas a largo plazo. Adicionalmente, existe un consenso a nivel mundial que atribuye el cambio climático a la generación de gases de efecto invernadero (GEI) por la quema excesiva de combustibles fósiles. Los cambios que este fenómeno conlleva son devastadores para toda la humanidad, razón por la cual es importante buscar fuentes alternativas de energía que reduzcan las emisiones de GEI hacia la atmósfera. Entre estas alternativas se destacan la energía eólica y la energía solar fotovoltaica cuyo uso se ha difundido tanto a gran escala (sistemas interconectados) como en aplicaciones aisladas (residencias y comunidades) a nivel mundial.

San Rafael de Sharug no posee estudios sobre la disponibilidad del recurso eólico, ni tiene proyectos de energía renovable en la región. Este estudio es importante porque analizará la



potencialidad de las energías renovables e impulsará su uso en comunidades lejanas que no cuentan con conexión al Sistema Nacional Interconectado (SNI) de electricidad.

1.2 Justificación del estudio

La parroquia San Rafael de Sharug está ubicada al extremo sur de la cordillera andina ecuatoriana, región que, según el Atlas Eólico publicado por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable del Ecuador (MEER) en el 2013, indica tener una alta potencialidad de aprovechamiento de energía eólica (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2013). En ocasiones, ésta parroquia se ve afectada negativamente por los vientos fuertes e irregulares que se evidencia en la zona, por ejemplo, con daños a los tejados de las viviendas o con cambios repentinos en el clima local. Sin embargo, este potencial eólico puede ser aprovechado para generar energía en beneficio de la comunidad. El plan de desarrollo territorial del cantón Pucará del año 2014 describe que el 15% del cantón no está conectado a la red eléctrica y señala la importancia de extender la dotación de energía eléctrica a todos los sectores del cantón, especialmente a las comunidades rurales. Este estudio de pre-factibilidad servirá como un paso inicial para la introducción de energías renovables en la región.

1.3 Objetivos del estudio

Objetivo General

Elaborar un estudio de pre-factibilidad para la implementación de un sistema energético basado en energía renovable que dote de electricidad al auditorio de la parroquia San Rafael de Sharug.

Objetivos Específicos:

1. Efectuar una evaluación topográfica de la región para definir su potencialidad eólica.
2. Levantar y recopilar información meteorológica para la cuantificación del potencial energético de la región.
3. Determinar la demanda energética del auditorio para dimensionar el sistema.
4. Evaluar la tecnología disponible para determinar el sistema ideal para el caso de estudio.
5. Evaluar los aspectos ambientales relacionados con la ejecución del proyecto.
6. Determinar la inversión y periodo de retorno de la propuesta.



2. CONTENIDO TEÓRICO

2.1 Bases teóricas

Historia de las energías renovables

Desde tiempos antiguos, la búsqueda y uso de fuentes de energía han incentivado el desarrollo de la humanidad. La revolución industrial a mediados del siglo XVIII basada en la mecanización de procesos, constituyó un evento transcendental en la historia de la humanidad al transformar la dinámica comercial e impulsar el crecimiento económico de ciertas regiones. A esta revolución atribuimos el incremento de la demanda energética y consecuentemente el impulso hacia la búsqueda de nuevas formas de explotar nuestros recursos naturales para satisfacer la demanda. En la actualidad, el consumo energético per cápita ha incrementado alrededor de 300% en comparación al consumo durante la revolución industrial (de 75 a 250 kcal), y la tendencia continúa. Desde 1973 el consumo de energía a nivel mundial ha incrementado por un 90%, de 4.7 giga toneladas equivalentes de petróleo (Gtoe) a 8.9 Gtoe en el 2002 (Ngo & Natowitz, 2016). Durante este tiempo la demanda energética ha sido satisfecha casi exclusivamente por fuentes no renovables como el gas natural, petróleo, carbón y madera (Twidell & Weir, 2006). Hasta el año 2014, el 85% de la energía utilizada a nivel mundial fue derivada de fuentes fósiles (British Petroleum, 2015).

Al continuar con la actual tendencia de consumo energético que se ve caracterizada por la expansión indiscriminada de la demanda, nos vemos bruscamente confrontados con el reto de encontrar formas alternativas de generar energía, ya que nuestras fuentes convencionales se están agotando. Antes de la revolución industrial, las necesidades energéticas eran satisfechas mediante energías renovables, como el viento y la energía cinética del agua, pero debido al incremento de la demanda energética a mediados del siglo XIX, se comenzó a emplear otras fuentes más eficientes y económicas, como el carbón y el petróleo. En esos tiempos, el criterio primordial para la adopción de fuentes de energía era exclusivamente económico: mientras más ganancias generaba el recurso, más se impulsaba su uso. No habían mayores consideraciones de los aspectos sociales o ambientales. Actualmente el gas natural, la biomasa, la energía nuclear y la energía hidroeléctrica se han incluido en la diversificación de fuentes energéticas, en gran parte gracias a los acuerdos internacionales y estudios emergentes que indican que el cambio climático es un peligro inminente para el bienestar de la Tierra. Por otro lado, la depleción de las reservas de crudo también juega un rol importante en este cambio (Ngo & Natowitz, 2016).



Afecciones del uso de combustibles fósiles en nuestro entorno

La quema de combustibles fósiles emite gases de efecto invernadero, actores principales que generan el cambio climático que estamos experimentando en la actualidad. Estos gases alteran el mecanismo de equilibrio térmico que posee la Tierra (Doménech, 2007). Normalmente, para mantener una temperatura constante, el 30% de los rayos solares de onda corta que atraviesan la atmosfera deben ser reflejados por las nubes hacia el espacio y el restante 70% debe llegar al suelo (Consejo Nacional de Electricidad, 2013a), para consecuentemente, ser rebotadas desde el suelo y convertirse en radiación infrarroja, es decir calor. A su vez, una parte de estas ondas infrarrojas deben irradiar nuevamente hacia la superficie de la Tierra, y otra parte debe escapar de la atmosfera hacia el espacio. Este mecanismo se ve afectado negativamente por la introducción de ciertos gases que engruesan la capa atmosférica, impidiendo la salida de la radiación infrarroja y generando el fenómeno conocido como el efecto invernadero. Los gases más perjudiciales incluyen: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (NO_2), hidrofluorocarbonados (HFC), perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre (SF_6). El CO_2 es el principal gas de efecto invernadero debido a su prevalencia en la atmosfera, pero el CH_4 es más peligroso debido a que atrapa 100 veces más calor que el CO_2 (en un periodo de cinco años) (Doménech, 2007).

La concentración de CO_2 en la atmosfera ha incrementado significativamente durante el último siglo, de 280 partes por millón (ppm) en 1750 a 450 ppm en la actualidad, y se estima que para el año 2100 la concentración se incremente a un rango entre 540 a 970 ppm, dependiendo de nuestras acciones y respuestas que demos ante el fenómeno. Conjuntamente, la presencia de CH_4 y NO_2 ha aumentado en 150% y 16% respectivamente desde 1750 hasta 1999. El predominio de estos gases en la atmosfera ha ocasionado que la temperatura media a nivel mundial se incremente entre 0.3 y 0.7 °C desde 1900 y predicen llegar a un aumento de 2 a 4 °C con respecto a 1990 para 2100 (Doménech, 2007).

Los efectos ambientales que se han producido debido al incremento de la temperatura global no son eventos aislados, sino que provocan fenómenos en un efecto de cadena, y son extremadamente perjudiciales para la Tierra y los seres vivos que habitamos en ella. Uno de los efectos es el incremento del nivel del mar. Desde 1900 hasta 2001 en nivel del mar ha subido entre 10 y 25 cm, y se prevé que suba 20 cm más para 2050. Este incremento induce la pérdida de tierras y humedales, lo cual a su vez provoca el desplazamiento de millones de personas que habitan en las costas y la destrucción de hábitats. El incremento del nivel del mar se da principalmente debido al deshielo de los glaciares y casquetes polares e introduce millones de



metros cúbicos de agua dulce a las corrientes marinas. La introducción de esta agua dulce provoca la alteración de la densidad del agua del mar y consecuentemente una modificación en las corrientes marinas. La alteración de las corrientes marinas, a su vez, contribuye a la modificación del régimen climático a nivel mundial, ocasionando fenómenos extremos como sequías, inundaciones, tormentas, huracanes y temperaturas extremas máximas (incremento de la frecuencia de olas de calor y frío). Con este cambio del régimen climático se facilita la proliferación de plagas y enfermedades tropicales en lugares nuevos no costeros, poniendo en riesgo la salud de millones de personas. Finalmente, estos cambios causan daños en ecosistemas y la agricultura por la imposibilidad de una rápida adaptación ante ellos (Doménech, 2007).

Cabe recalcar que el cambio climático no surgió únicamente debido a la combustión de compuestos derivados de petróleo, sino también debido a la reducción de la masa forestal. Entonces, para combatir los efectos nocivos que produce este fenómeno, es indispensable cambiar todos nuestros hábitos de consumo, tanto energético como material para alcanzar un desarrollo sostenible. Este modelo de desarrollo implica encontrar un equilibrio entre los impactos sociales, ambientales y económicos que genera el consumismo a nivel mundial. Proyectos como el Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas (UNDP) se enfocan en alcanzar el desarrollo sostenible en áreas conflictivas mediante la erradicación de la pobreza, el progreso social y la igualdad de género. Programas como este reconocen la importancia e influencia que tiene la energía en la vida de los seres humanos, ya que históricamente podemos evidenciar como la energía transformó economías y sociedades, facilitando la industrialización e incrementando los estándares de vida (United Nations Development Programme, 2016).

Breve descripción de tipos de energía

Todos los recursos energéticos primarios que aprovechamos son derivados de la energía solar, ya sea directa o indirectamente. Estos se pueden identificar como fuentes agotables y fuentes renovables. Se identifica como fuentes agotables o no renovables aquellos elementos cuya disponibilidad es limitada, y se puede estimar su agotamiento en un tiempo determinado. Estas fuentes incluyen el carbón mineral, el petróleo y el gas natural. Por otro lado, las energías renovables se clasifican en aquellas que cumplen un ciclo de vida continuo, es decir se autogeneran y consecuente no se puede identificar un tiempo preciso para cuando estas dejen de existir. Las energías renovables incluyen la energía solar, el viento, la potencia hídrica, la energía geotérmica y la biomasa (Ngo & Natowitz, 2016). A continuación se detalla una breve descripción de los distintos tipos de energías renovables más conocidas en nuestro entorno:



Hídrica - El aprovechamiento de la energía hídrica consiste en captar la energía tanto cinética como potencial del agua para generar electricidad. Para el aprovechamiento de la energía potencial comúnmente se construye embalses de agua en ríos cuyo caudal es significativo creándose reservorios de agua, que posteriormente es liberada pasando por turbinas que generan electricidad. La energía cinética es aprovechada mediante sistemas denominados “Run-of-the-River”, en donde el caudal del río es desviado directamente hacia la turbina generadora. La desventaja de esta tecnología es que la cantidad de energía generada es sujeta a la estacionalidad de la lluvia. Aunque las plantas hidroeléctricas no producen emisiones de gases, la modificación o desviación del caudal de los ríos puede afectar la calidad del agua y puede presentar una amenaza para la preservación de los hábitats (Tromly, 2001).

Eólica – El aprovechamiento de la energía del viento es quizá la más antigua, ya que nuestros antepasados utilizaban la fuerza del viento para moler granos y navegación. Actualmente se aprovecha esta energía mediante turbinas eólicas que poseen palas especialmente diseñadas para capturar de manera óptima la fuerza del viento. Esto, combinado con generadores eficientes, convierte la energía capturada en electricidad. El recurso eólico ha sido una fuente de energía renovable que ha crecido de manera impresionante en los últimos tiempos, incrementado su uso en un 25% desde 1990 a nivel mundial (Ayodele & Ogunjuyigbe, 2013).

Solar - El sol es una fuente infinita de energía generando calor y luz, mismos que pueden ser aprovechados de diversas formas:

- La arquitectura solar pasiva busca encontrar la óptima manera de utilizar la luz natural y el calor que brinda el sol para alumbrar y calentar una vivienda o un edificio.
- Los calentadores solares de baja temperatura calientan agua o líquidos de transferencia de calor, a través de tubos metálicos o de vidrio que utilizan el calor del sol. Estos a su vez calientan un tanque de almacenamiento que está aislado térmicamente (Tromly, 2001). Estos son comúnmente empleados a pequeña escala.
- Las centrales solares térmicas de alta temperatura concentran el calor del sol para generar electricidad. Estas centrales constan de muchos espejos que reflejan la luz a un solo punto en donde se concentra el calor y puede calentar un fluido generando vapor. Este vapor pone en movimiento un generador para crear electricidad, usualmente generando electricidad en gran escala (Tromly, 2001).



- Los paneles fotovoltaicos están formados de varias celdas solares que, mediante un material semiconductor como el silicio, pueden convertir la energía de los rayos solares en corriente eléctrica continua, y a través de un inversor esta energía puede ser utilizada para operar los equipos eléctricos domésticos. Este tipo de sistemas pueden funcionar en forma aislada mediante baterías, o pueden insertar energía directamente al SNI (Alonso Abella, 2011).

Geotérmica - La energía geotérmica se origina a aproximadamente 6.000 kilómetros debajo de la superficie terrestre, en el núcleo, en donde la temperatura puede alcanzar hasta aproximadamente 5.000 °C. Este calor fluye hacia afuera, calentando las áreas a su alrededor y creando reservorios de agua caliente y vapor de agua. La energía geotérmica se aprovecha mediante turbinas alimentadas por el vapor de estos fluidos geotérmicos. Generalmente, esta fuente energética es considerada renovable debido a que el vapor de agua es condensado y reintegrado al sistema geotérmico después de su uso y las plantas geotérmicas generan considerablemente menos contaminación atmosférica en comparación a las plantas de carbón (Marzolf, 2007).

Biomasa - La biomasa representa cualquier residuo sólido de origen orgánico. Este recurso puede ser utilizado de las siguientes maneras:

- Incineración para generar electricidad. Este proceso implica la incineración de residuos de biomasa para calentar un líquido (generalmente agua) y generar vapor, que a su vez pone en movimiento turbinas que generan electricidad. La quema de biomasa reduce la emisión de gases de efecto invernadero como el dióxido de azufre, ya que la biomasa contiene menos azufre que el carbón, reduciendo así la incidencia de la lluvia ácida (Singh & Gu, 2010).
- Generación de biocombustibles. El biocombustible más conocido es el etanol, un alcohol con alto potencial energético, derivado de la fermentación de cierta biomasa que contiene una alta concentración de carbohidratos (como la caña de azúcar y maíz). Otro tipo de biocombustible es el biodiesel, mismo que puede ser generado a partir de desechos vegetales (soya, girasol o palma africana) y grasa animal. Estos productos se utilizan en la industria de transporte, en donde el etanol puede reemplazar a la gasolina y biodiesel al diésel (Singh & Gu, 2010).



- Gasificación mediante la descomposición anaerobia. Este proceso genera metano, un gas similar al gas licuado de petróleo (GLP); que puede ser almacenado y utilizado para generar energía (Singh & Gu, 2010).

Undimotriz - El océano es una masa que almacena una importante cantidad de energía generada por los patrones de viento. Esta energía puede ser aprovechada mediante aparatos mecánicos que captan la energía cinética que tienen las olas. La energía undimotriz aún está en estado exploratorio, en donde la mayoría de la investigación se está llevando a cabo en Europa (Tovar & Yamá, 2009). Sin embargo, cualquier fuente de energía renovable, requiere además de la necesaria madurez tecnológica, de un adecuado marco institucional y legal para su implementación.

2.2 Bases legales

El marco legal es una herramienta importante para incentivar el desarrollo sostenible de una nación ya que identifica acciones y derechos claves. Las normativas deben asumir las realidades, identificando potencias y debilidades del territorio, para poder dictar reglamentos válidos, que funcionen y permitan al país alcanzar las metas establecidas.

Legislación Internacional

Con la finalidad de facilitar y motivar a distintos países a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero, se han llevado a cabo varias conferencias mundiales en donde se han adoptado ciertas resoluciones significativas. Entre los acuerdos establecidos, el Protocolo de Kyoto es quizá el más conocido. Este protocolo surgió como resultado de la Convención Marco de las Naciones Sobre el Cambio Climático en 1992 y tuvo la función de comprometer a los países industrializados a estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero. Ratificado en el año 2005, su plan de acción señalaba que debe ser ejecutado a partir del 2008 hasta el 2012 (Naciones Unidas, 1998). Una manera en la que el Protocolo incentiva a las naciones industrializadas a reducir su contaminación es mediante la compra y venta de derechos de emisiones. Para esto se han desarrollado ciertos mecanismos estratégicos según lo detalla Doménech (2007):

- El comercio de derechos de emisión entre países industrializados permite a los países que no llegan a emitir tanto CO₂ a comercializar sus bonos a otros países por medio de un mercado específico para ello.



- El proyecto de Actuación Conjunta (AC) permite que países industrializados ejecuten proyectos para compensar sus emisiones de CO₂ con los recursos que ahorran en proyectos ejecutados en otros países.
- Los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) incentivan a países desarrollados a ejecutar proyectos en países en vías de desarrollo para compensar sus emisiones de CO₂. Este último incentivo es especialmente importante ya que incluye los tres ejes del desarrollo sostenible: económico, ambiental y social. Económico debido a la capacidad de obtención de los derechos de emisión; ambiental porque el MDL está enfocado en el desarrollo de energías limpias y la conservación de masa forestal; y social ya que este modelo se aplica exclusivamente en países en vías de desarrollo.

El año 2015 fue de suma importancia para el avance del desarrollo sostenible y las energías renovables ya que los estados miembros de las Naciones Unidas (UN) llegaron a acuerdos históricos y plantearon agendas claras para los próximos años. Más notablemente, la Agenda para Desarrollo Sostenible 2030 reconoce la importancia de la energía y busca asegurar el acceso a fuentes de energía segura, accesible y sostenible. Conjuntamente, el Acuerdo de París delinea la necesidad de implementar acciones inmediatas para estabilizar la temperatura global, limitando su incremento a 1.5 °C (United Nations Development Programme, 2016).

Legislación nacional

La Constitución Política de la República del Ecuador en el Título I – Elementos Constitutivos del Estado en el Art. 3.- Los deberes primordiales del Estado indica que es un deber “planificar el desarrollo nacional, erradicar la pobreza, promover el desarrollo sustentable y la redistribución equitativa de los recursos y la riqueza, para acceder al buen vivir.” Además declara el deber de “proteger el patrimonio natural y cultural del país”, lo cual indica la importancia que la naturaleza tiene en nuestro progreso como nación. Aún más notable es en el Título II – Derechos en el Art. 14.- “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*”. Este artículo lleva a manifestar que la preservación del ambiente es de interés público, por lo que justifica las políticas públicas dirigidas a la preservación del ambiente y el fomento de las energías renovables (Asamblea Nacional Republica del Ecuador, 2008).

En el Título VII – Régimen de Buen Vivir, el Art. 413.- “El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la



soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua”. Este artículo resume todo lo que es el movimiento hacia la energía no convencional y demuestra el compromiso del Estado para lograr la meta de desarrollo sustentable. Complementariamente, en el Art. 144 el Estado se compromete en adoptar medidas transversales para la mitigación del cambio climático (Asamblea Nacional Republica del Ecuador, 2008).

La Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, refiriéndose al Tercer Suplemento del Registro Oficial N° 418 aprobado en enero del 2015, pronuncia la promoción y ejecución de planes y proyectos con fuentes de energías renovables y establece que el Estado debe desarrollar mecanismos para la promoción de las energías renovables. Esta ley indica la importancia de:

“construir una matriz de generación eléctrica económica y ecológicamente equilibrada, incrementando la participación de las energías limpias y renovables como la eólica, biogás, fotovoltaica, geotérmica, mareomotriz e hidroeléctrica, disminuyendo la generación térmica ineficiente que utiliza combustibles fósiles”.

Esta ley también ratifica la creación del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) en el Capítulo II, manifestando que este “Es el órgano rector y planificador del sector eléctrico. Le corresponde definir y aplicar las políticas; evaluar que la regulación y control se cumplan para estructurar un eficiente servicio público de energía eléctrica”. Asimismo, en el Capítulo III se presenta la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL). Esta agencia es el organismo técnico administrativo encargada de regular las actividades relacionadas con el servicio público de energía eléctrica (Asamblea Nacional Republica del Ecuador, 2015).

Finalmente, el Plan Maestro de Electrificación 2013-2022, ratificado en Septiembre del 2013, establece como política general la introducción de tecnologías innovadoras relacionadas con el manejo de recursos renovables. Adicionalmente, establece que la generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables es la principal alternativa a largo plazo y conjuntamente introduce estrategias de eficiencia energética (Consejo Nacional de Electricidad, 2013c).

2.3 Aplicaciones de las energías renovables

Introducción

Durante las últimas décadas, la energía renovable se ha posicionado como una alternativa energética altamente eficiente y beneficiosa para la autonomía de naciones. La Ilustración 1 indica la evolución de las fuentes energéticas a nivel mundial, en donde el patrón de uso de distintas fuentes energéticas ha cambiado entre 1973 y 2014. Se evidencia una reducción del 11% en el uso de petróleo y carbón. No obstante, la energía generada se ha duplicado en este intervalo de

tiempo, lo cual implica que aunque se haya reducido el uso de fuentes no renovables, la contaminación no se ha reducido porque la generación energética ha incrementado. En la ilustración, la categoría “Coal” incluye turba y esquisto bituminoso, y la categoría “Other” incluye fuentes alternativas de energía como geotermal, solar, eólico, entre otros (International Energy Agency, 2016).

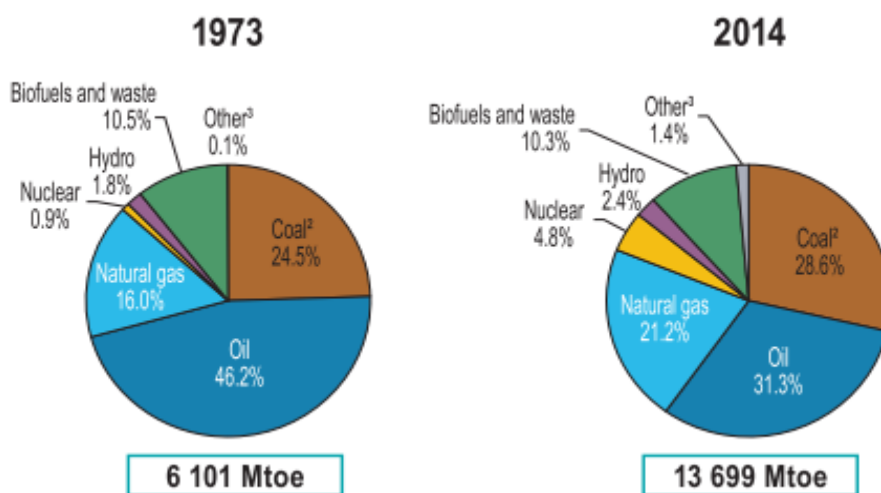


Ilustración 1- Comparación de fuentes energéticas a nivel mundial (1973 – 2014)

Fuente: Agencia Internacional de Energía (IEA), 2016

Los países Latinoamericanos tienen un gran potencial de desarrollo de energías renovables al estar ubicados en un continente abundante en recursos hídricos, con alta disponibilidad de insolación solar y con ciertas regiones expuestas a fuertes vientos. Si bien los recursos naturales son favorables, la falta de incentivación por parte de gobernantes ha estancado el desarrollo e implementación de alternativas energéticas en la región (Canseco, 2010). Hasta el 2014, según el Agencia Internacional de Energía (IEA), los países sudamericanos que producen la mayor cantidad de energía mediante fuentes renovables son Brasil, Chile y Argentina con una producción de 118,09 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtoe), 9,55 Mtoe y 9,26 Mtoe respectivamente. Ecuador únicamente está produciendo 1,79 Mtoe (International Energy Agency, 2016).

No obstante, en el Ecuador se está ampliando esfuerzos para diversificar la matriz energética al ver que nuestra dependencia en el petróleo ha provocado que la economía se vea debilitada, ya que ésta es cercanamente ligada al precio internacional del crudo. Con la finalidad de proveer a la población ecuatoriana más seguridad económica y alcanzar un mejor estilo de vida, se busca invertir en recursos energéticos no convencionales.

Según el Compendio Estadístico del 2015 creado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), desde el 2000 la producción de energía se ha duplicado de 10.612 GWh a 26.460 GWh en el 2015, y se estima un incremento del 4% anual en la demanda energética a nivel nacional hasta el 2022 (Consejo Nacional de Electricidad, 2013b). El abastecimiento de la incrementada demanda ha sido posible gracias a la diversificación de fuentes energéticas. En el año 2000 las fuentes de energía únicamente incluían generación hidráulica (71,72%) y térmica (28,28%), mientras que en el 2015 las fuentes se ampliaron a incluir biomasa, solar, eólica y el sistema de interconexión. El sistema de interconexión hace referencia al sistema regional de transmisión entre varios países (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2015). En la Tabla 1 se detalla el incremento en generación de energía y diversificación de fuentes como respuesta a la creciente demanda para los años entre 2011 hasta 2015.

Tabla 1– Evolución de fuentes y generación energética entre 2011 y 2015

Fuente	Generación (GWh)									
	2011		2012		2013		2014		2015	
Hidráulica	11.133	51,0%	12.238	53,0%	11.039	46,2%	11.458	45,6%	13.096	49,5%
Biomasa	278,20	1,3%	296,35	1,3%	296,79	1,2%	399,47	1,6%	407,75	1,5%
Solar	0,06	0%	0,33	0%	3,66	0,02%	16,48	0,07%	36,06	0,1%
Eólica	3	0,02%	2	0,01%	57	0,24%	80	0,32%	99	0,37%
Total Renovable	11.415	52,3%	12.537	54,4%	11.395	47,7%	11.954	47,6%	13.639	51,5%
Térmica	9.129	41,8%	10.311	44,7%	11.815	49,5%	12.354	49,1%	12.309	46,5%
Interconexión	1.295	5,9%	238	1%	662	2,8%	837	3,3%	512	2%

Fuente de Datos: INEC, 2015

De acuerdo a esta información, se nota que las fuentes solares y eólicas son las menos utilizadas a nivel nacional, pero no obstante, existe un importante incremento en su uso durante los últimos años. Esto indica que las energías solar y eólica son las fuentes más prometedoras y que existe un campo muy amplio para explorar su potencialidad en el Ecuador.

Energías renovables en el Ecuador

Hidroelectricidad

En el Ecuador, el recurso hidroeléctrico ha sido el más estudiado y documentado debido a su alto potencial de generación energética. La geomorfología del país permite la formación de una gran cantidad de cuencas y subcuencas hidrográficas divididas principalmente por la Cordillera de Los Andes. El potencial hídrico estimado a nivel nacional es 16.500 m³/s, en donde el 71% se

encuentra en la Vertiente Amazónica y el 29% en la Vertiente del Pacífico. Con este potencial hídrico el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) ha calculado que el potencial hidroeléctrico teórico es 90.976 MW a nivel del Ecuador continental. Hasta el 2013, se encontraban 57 hidroeléctricas en operación a nivel nacional, con potencias efectivas variando desde 0,07 MW (Central Oyacachi 1) hasta 1.100 MW (Central Paute-Molino) (Consejo Nacional de Electricidad, 2013a) La potencia efectiva total instalada hasta el 2016 es 7.606,10 MW. A este valor se destaca la contribución de las centrales hidroeléctricas Coca Codo Sinclair y Sopladora que fueron incorporadas en el 2016 con una potencia de 1.500 MW y 487 MW respectivamente. La Tabla 2 detalla las centrales que entraron en operación en el 2016 (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2017). Más a futuro, se prevé la construcción de seis hidroeléctricas más a nivel nacional: Cardenillo, Zamora, Baeza, Guayllabamba, Caluma – Pasagua, y Ocaña II (Consejo Nacional de Electricidad, 2013a).

Tabla 2- Centrales hidroeléctricas incorporadas en 2016

Empresa	Central Hidroeléctrica	Potencia Nominal (MW)	Potencia Efectiva (MW)
CELEC-Coca Codo Sinclair	Coca Codo Sinclair	1.500	1.476
CELEC-Hidroazogues	Central Alazán	6,23	6,23
CELEC-Hidropaute	Sopladora	487	486,99
Ecuagesa	Topo	28,05	27
Hidrotambo	Hidrotambo	8	8
Hidrovictoria	Victoria	10,32	10

Fuente de Datos: ARCONEL, 2017

Geotérmica

El Ecuador es un país privilegiado en el tema de recursos geotérmicos, pero, desafortunadamente, aún no se ha construido una central de generación de este tipo. La exploración de este recurso se inició hace más de 30 años, pero fue parada en 1993 debido a reducida potencialidad económica que este recurso prometía en comparación a la explotación petrolera de ese tiempo. Según los estudios disponibles, en el 2010 se determinó que el potencial geotérmico hipotético total del Ecuador es 6.500 MW. De esto se prevé aprovechar aproximadamente 952 MW con los proyectos Tufiño – Chiles (proyecto binacional Ecuador - Colombia), Chachimbiro, Chalupas y Chacana (Consejo Nacional de Electricidad, 2013a).

Energía Solar

El Ecuador, al estar situado en la línea ecuatorial, se ve muy favorecido por el recurso solar. Con la finalidad de aprovecharlo al máximo, el CONELEC publicó en el año 2008 el “Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica”. Este Atlas incluye la cuantificación del potencial solar

disponible y un método para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos autónomos. A partir del 2013 existe una gran cantidad de proyectos, tanto privados como públicos, y de pequeña y gran escala, a nivel nacional para aprovechar este recurso. La energía solar fotovoltaica está siendo aplicada principalmente en las Islas Galápagos, Loja, Imbabura, y en la región Costa del país. A partir del 2013 existen 36 proyectos con potencia mayor a 1 MW en varias fases de ejecución, los cuales suman una potencia total de 878,45 MW (Consejo Nacional de Electricidad, 2013a). La Tabla 3 detalla los proyectos solares más notables en el Ecuador.

Tabla 3 – Proyectos Solares Fotovoltaicos de mayor potencia en el Ecuador

Proyecto	Ubicación	Potencia (MW)	Empresa Gestora
Chongón	Chongon, Guayaquil	80	Atlantic
Shyri 1	Distrito Metropolitano de Quito	50	Desarrollos Fotovoltaicos del Ecuador S.A.
	Loja	50	Martifer Solar
Illapa	Cotacachi	49,9	Illapa EP
Condor Solar	Cayambe – Tabacundo	30	Condor Solar S.A.
Los Bajos	Montecristi, Manabí	30	ENERGIASMANABITAS S.A.

Fuente de Datos: CONELEC, 2013a.

También se han desarrollado proyectos a pequeña escala con sistemas fotovoltaicos residenciales para zonas remotas. Más notablemente, el proyecto YANTSA ii ETSARI que está siendo ejecutado por la Empresa Eléctrica Regional CentroSur C.A. (CENTROSUR) desde el 2011, se enfoca en la instalación de sistemas solares fotovoltaicos aislados de la red para viviendas. Estos sistemas están ubicados en la provincia de Morona Santiago, principalmente en los cantones Morona, Logroño y Taisha. Hasta Mayo del 2015, se han instalado aproximadamente 3000 sistemas solares fotovoltaicos (Vásquez, Urdiales, Espinoza, & García, 2015).

Energía Eólica

La ubicación geográfica que tiene el Ecuador, la Cordillera de los Andes y la cercanía del Océano Pacífico permite que el país tenga un importante potencial eólico. Por esta razón, los proyectos de este ámbito se podrían ubicar en las crestas de las montañas andinas y cercanas a la costa o costa-afuera de las playas ecuatorianas, en donde la velocidad el viento es mayor. El Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (MEER) elaboró el “Atlas Eólico del Ecuador con fines de Generación Eléctrica” en el 2013 en donde indica que el potencial eólico bruto del Ecuador es 1.671 MW con una producción energética de 2.869 GWh/año. Sin embargo, hasta la fecha solo tres centrales han sido instaladas: la Central Eólica Villonaco ubicada en la provincia de Loja con una potencia de 16,5 MW, el proyecto eólico San Cristóbal en la isla del mismo nombre (2,4 MW) y el Proyecto Eólico Baltra en el cantón Santa Cruz de las Islas Galápagos con una potencia de 2,25



MW. El último es parte de un proyecto híbrido que incluye el parque fotovoltaico Puerto Ayora. Entre los proyectos más prometedores que están en fase de estudio se incluye el Proyecto Eólico García Moreno con potencia de 15 MW localizado en la provincia de Carchi, el proyecto Huascachaca y Villonaco Fase II (Ducal – Membrillo) con potencias de 50 MW cada uno (Consejo Nacional de Electricidad, 2013a).

Biomasa

Considerando que el Ecuador es un país tradicionalmente agrícola y ganadero, la biomasa llega a ser un recurso de mucho potencial. En la Isla Floreana del archipiélago de Galápagos existe un proyecto pionero en donde se utiliza aceite de la planta piñón para generar electricidad. Esta central tiene una potencia instalada de 138 kW, la cual es complementada con un microcentral fotovoltaica de 0,21 W de potencia. Otros proyectos de esta índole están en etapas de investigación (Consejo Nacional de Electricidad, 2013a).

Por otro lado, en el sector azucarero del Ecuador se utiliza el bagazo de caña para producir electricidad. En el 2016 la potencia efectiva de las centrales azucareras Ecudos y San Carlos produjeron 101,20 MW de energía eléctrica (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2017). Adicionalmente, existe un interés en la generación de etanol combustible a partir de los productos derivados de la caña de azúcar con finalidad de apartarnos de nuestra dependencia en el petróleo (Pelaez et al., 2015).

La biomasa también tiene la capacidad de generar biogás mediante la descomposición anaerobia de residuos sólidos para la producción de electricidad. Se han desarrollado proyectos para recolectar estos gases, específicamente metano, en ciertos rellenos sanitarios en el país. En Cuenca, por ejemplo, el relleno sanitario de Pichacay es innovador en su manejo de los desechos y en su visión de aprovechar las condiciones de descomposición que se dan en él. La Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca (EMAC EP) ha considerado tres premisas para la generación de electricidad a partir del biogás que se genera en el relleno sanitario. El proyecto principalmente busca reducir las emisiones de efecto invernadero, convirtiendo el metano en CO₂ mediante su incineración, que a su vez genera electricidad que es comercializada, generando recursos económicos para financiar futuros proyectos. La planta puso en funcionamiento la primera fase del proyecto a finales del 2016 y se prevé que genere 1 MW de energía durante su primer año de operación. Se espera incorporar la segunda fase en los próximos 3 años con lo que se espera incorporar 1 MW de energía adicional (Barragan, Arias, & Terrados, 2016).



En síntesis, con la finalidad de abastecer la creciente demanda energética, el Ecuador tiene previsto la construcción de una variedad de proyectos de energía renovable.

El siguiente capítulo detalla el caso de estudio y el marco metodológico utilizado.



3. CASO DE ESTUDIO Y MARCO METODOLÓGICO

3.1 Introducción

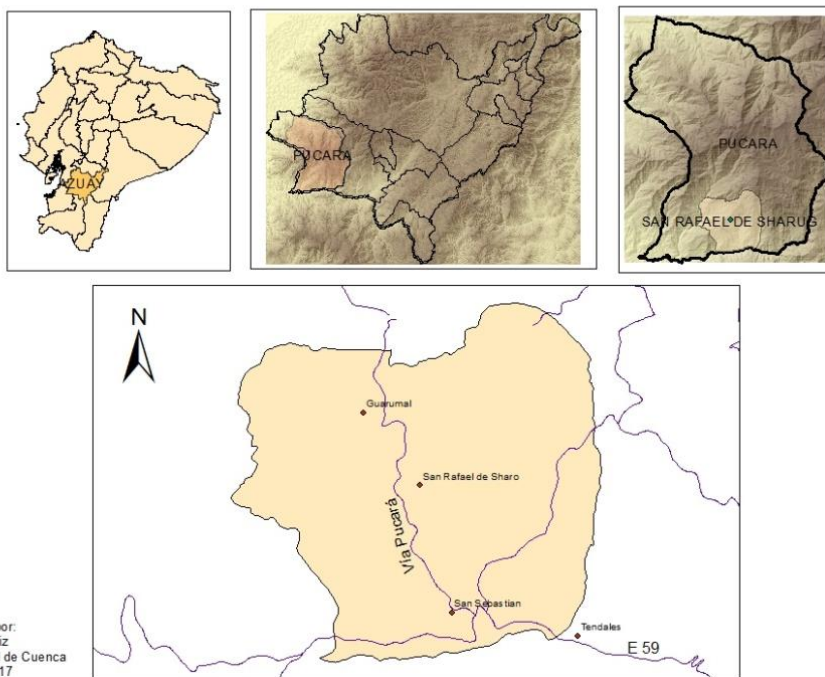
Al tomar en cuenta el gran potencial energético del Ecuador en términos de energías renovables, ciertos territorios como el cantón Pucará han considerado la implementación de estas tecnologías para alcanzar sus metas de electrificación de sus recintos más lejanos (Gobierno Autónomo Descentralizado de Pucará, 2014). Conjuntamente, la adopción de energías renovables es una condición innovadora que puede ser utilizada como una herramienta para mejorar las condiciones socioeconómicas de la localidad. La junta Parroquial de San Rafael de Sharug busca elevar el distintivo de su parroquia mediante la construcción de un Centro de Desarrollo Comunitario que se caracteriza por ser un complejo autosustentable.

3.2 Localización del proyecto

3.2.1 Contexto geográfico

La provincia del Azuay está ubicada al Sur del Ecuador y está formado por 15 cantones. La parroquia San Rafael de Sharug pertenece al cantón Pucará, mismo que se encuentra al Sur Oeste de la provincia. Pucará limita al Norte con el cantón Camilo Ponce Enríquez, al Sur y al Oeste con el cantón Pasaje (Provincia del Oro), y al Este con el cantón Santa Isabel (Gobierno Autónomo Descentralizado de Pucará, 2014). La parroquia San Rafael de Sharug se encuentra a aproximadamente 125 km de la ciudad de Cuenca por la vía Girón-Pasaje (E 59) en las coordenadas S 3,27665 y O 79,54842. Está ubicada entre la unión de la sierra y la costa, razón por su nombre, *Sharug*, que significa “límite entre costa y sierra” en quichua. Su frontera hacia el sur limita con el Río Jubones del cantón Zaruma y al norte con el cantón Pucará (Ilustración 4). Su clima es tropical y su territorio se extiende en elevaciones que ascienden desde 500 hasta 2,000 m.s.n.m. (Albarracin & Bautista, 2016).

UBICACIÓN DE SAN RAFAEL DE SHARUG



Elaborado por:
Jennifer Ortiz
Universidad de Cuenca
Febrero, 2017

Ilustración 2 - Ubicación geográfica de San Rafael de Sharug

Fuente de Datos: UTM WGS84 (2011), Edición: Autora

A su vez, San Rafael de Sharug cuenta con 15 comunidades: San Jacinto de Chaguar, Dagnia, El Pindo, Guarumal, Huayrapungo, Huasipamba el Paraíso, La Cascada, Quillosisa, Rosa de Oro, Santa Martha, San Sebastián, San Rafael de Sharug, Saucal – Laurel, Tendaes y Tullusiri (Albarracin & Bautista, 2016).

3.2.2 Contexto económico

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Pucará realizado en el 2014, la actividad económica del cantón Pucará se puede definir en tres sectores: primario, secundario y terciario. En el sector económico primario se encuentran las actividades productivas como la agricultura y la ganadería. Los monocultivos predominantes son papa, cacao, maíz, banano y caña de azúcar. La producción pecuaria consiste de vacuno, porcino, cuyes y caballar. Para el desempeño de estas actividades productivas se cuenta con 15 obras de infraestructura para riego, en donde el canal San Rafael de Sharug beneficia a la parroquia directamente (Gobierno Autónomo Descentralizado de Pucará, 2014).

Dentro del sector secundario se encuentra la actividad artesanal e industrial. Solo el 25% de las comunidades de Pucará realizan algún tipo de artesanía, producción que se comercializa



exclusivamente dentro de la misma comunidad. Esta actividad artesanal es de tipo familiar y no se ha encontrado un mercado externo para los productos. Lamentablemente, San Rafael de Sharug no forma parte de la demografía de comunidades con actividad artesanal. La actividad industrial, al igual que la artesanal, es mínima y altamente inestable debido a la carencia de inversiones en el cantón, la baja disponibilidad de profesionales y la infraestructura deficiente, por lo que la inversión productiva en este cantón es de alto riesgo y su desarrollo industrial se ve frenado (Gobierno Autónomo Descentralizado de Pucará, 2014).

El sector terciario incluye servicios de: alojamiento, comida, transporte, servicios profesionales, servicios técnicos, servicios públicos, enseñanza, atención de salud y mantenimiento de infraestructura (como alcantarillado y electricidad). San Rafael de Sharug únicamente cuenta con comercio a pequeña escala como tiendas, cybers y un centro de salud (Gobierno Autónomo Descentralizado de Pucará, 2014).

Según estudios recientes, San Rafael de Sharug es una parroquia con alto potencial turístico, pero no cuenta con la infraestructura adecuada para poder desarrollar su actividad comercial. Por tanto, la mayor parte de la comunidad se dedica a la agricultura, ganadería y comercio a menor escala (Albarracin & Bautista, 2016).

3.3.3 Contexto social

Según el INEC, hasta el año 2014, el cantón Pucará contaba con 10.586 habitantes, en donde el 49% son hombres y 51% mujeres. La mayoría de esta población (90%) habita en la zona rural, la cual está conformada por una parroquia, San Rafael de Sharug, y 76 comunidades. San Rafael de Sharug cuenta con una población de 1.837 habitantes (2010). La mayor parte de la población está compuesta por personas menores de 19 años (aproximadamente 49%) (Gobierno Autónomo Descentralizado de Pucará, 2014).

Uno de los rasgos más definitorios de la sociedad pucareña son sus movimientos migratorios, tanto fuera del cantón como fuera del país. La mayoría de los emigrantes han viajado a los Estados Unidos de América y España, mientras que la migración dentro del país se ha dirigido hacia Cuenca y Machala predominantemente. Este fenómeno afecta más notablemente a personas entre 17 a 30 años ya que representan el 78% de emigrantes. Los pucareños atribuyen esta realidad a la falta de trabajo, pobreza y pocas oportunidades de emprendimiento (Gobierno Autónomo Descentralizado de Pucará, 2014).



3.3 Centro de Desarrollo Comunitario

La construcción del Centro de Desarrollo Comunitario de la Parroquia San Rafael de Sharug es un proyecto de cogestión entre la Junta Parroquial de San Rafael de Sharug y el Gobierno Provincial del Azuay (GPA). La meta es construir un complejo turístico comunitario sostenible basada en la organización de las comunidades de la parroquia para ofrecer servicios de gastronomía y ocio a los visitantes mediante la implementación de alternativas sustentables, respetando los recursos naturales y conservando la cultura de la parroquia. El GPA se enfocó en San Rafael de Sharug para el desarrollo de este proyecto debido a su bajo índice de actividad económica y alto potencial de actividad turística gracias a su ubicación geográfica (Albarracin & Bautista, 2016).

Para impulsar el turismo comunitario y atraer el voluntariado extranjero se han plantado ciertas estrategias, de las cuales nos vamos a enfocar en la estrategia de “autosustentabilidad”. Esta estrategia se encamina en dos ejes principales: las tecnologías alternativas y las energías renovables. Mediante el uso de tecnologías alternativas podemos conservar recursos como agua y energía. Para desempeñar esta estrategia se ha planteado la posibilidad de implementar baños secos y un sistema de tratamiento de aguas grises para la conservación del agua, e incentivar el uso de cocinas solares para ahorrar energía. En cuanto a las energías renovables, se ha planteado sistemas energéticos no convencionales como la instalación de turbinas eólicas y paneles fotovoltaicos para generar electricidad, al igual que la producción de gas metano mediante el uso de biodigestores (Albarracin & Bautista, 2016).

En la actualidad, se está llevando a cabo la primera fase del proyecto, esto es, la construcción de un auditorio comunal. Según el presidente de la junta parroquial y los miembros del comité, este auditorio se utilizará para capacitaciones, charlas y cualquier evento comunitario. Se estima que el complejo se completará en su totalidad en el 2027 con la ayuda del GPA (Albarracin & Bautista, 2016). Las Ilustraciones 2 y 3 muestran en detalle la estructura del auditorio.

DETALLE DE ESTRUCTURA

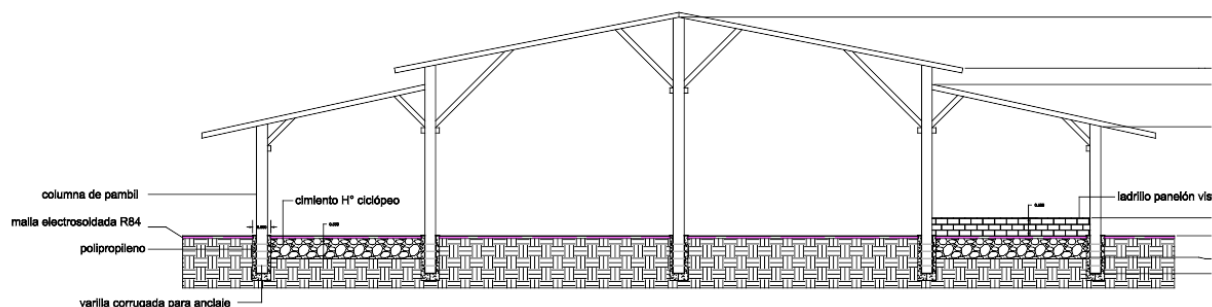


Ilustración 3 – Corte longitudinal del auditorio

Fuente: GAD Parroquial San Rafael de Sharug, 2016



Ilustración 4 – Estado de construcción de la obra hasta diciembre del 2016

Fuente: GAD Parroquial de San Rafael de Sharug, 2016

Para determinar la posibilidad de utilizar fuentes de energía renovable no convencional para abastecer las necesidades energéticas de este auditorio es necesario evaluar los recursos energéticos disponibles en el sitio (viento y sol), estimar la demanda eléctrica del mismo, y finalmente presentar la alternativa tecnológica más adecuada.

3.4 Investigación de disponibilidad del recurso eólico

Es esencial estudiar el comportamiento del viento ya que para poder aprovechar el recurso eólico es necesario tener un promedio de velocidad alta (entre 3 a 4 m/s medidos a la altura de la torre) y constante a lo largo del año (Vaca & Jara, 2015). Si bien en el sitio de estudio se perciben ráfagas de viento con velocidades elevadas en ciertas épocas del año, esto no resulta conveniente ni rentable pues es un fenómeno esporádico y pueden poner en riesgo los equipos de generación (aerogeneradores).

3.4.1 Técnica e instrumentos de recolección de datos

Los mapas eólicos son herramientas que indican la velocidad y potencia del viento a distintas alturas. La información es triangulada con los datos de estaciones meteorológicas o estimada en base a información satelital disponible. Debido a que las propiedades del viento son únicas para cada punto, no se puede regir únicamente en los datos que presentan estos mapas; sin embargo, los mapas eólicos son una herramienta referencial válida para determinar regiones con buen potencial eólico (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2013).

Otra manera de estimar la potencialidad de una región es mediante indicadores biológicos a partir de un análisis subjetivo de la vegetación que se ve influenciada por el viento. Mediante el índice de deformación elaborado por los autores Palmer Coslett Putnam y Robert Fiske Griggs (Ilustración 5), se puede hallar una relación empírica entre las especies arbóreas y la velocidad del viento al observar la inclinación del tronco y posición de las ramas (Vaca & Jara, 2015).

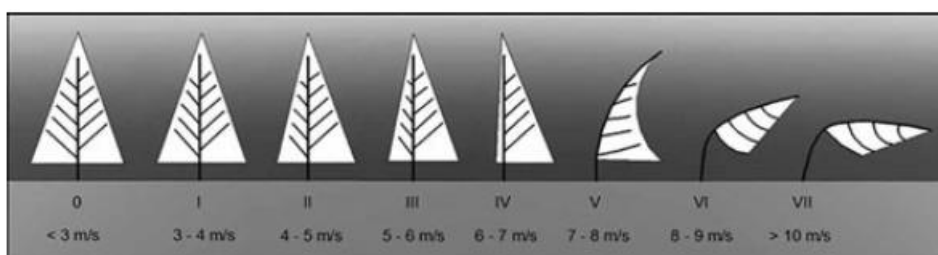


Ilustración 5 - Índice de deformidad Putnam-Griggs y rango de velocidad de viento asociado

Fuente: Vaca & Jara, 2015

De igual forma, la Escala de Beaufort (Tabla 4) es una herramienta empírica que categoriza las velocidades del viento en una escala del 1 al 12. Cada medida es representada con un término descriptivo que ayuda a identificar su intensidad (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2013).

Tabla 4 - Escala de Beaufort

Beaufort	Descripción	km/h	m/s	Nudos
0	Calma	0 - 1	0 - 0,2	<1
1	Ventolina	2 - 5	0,3 - 1,5	1 - 3
2	Brisa muy débil	6 - 11	1,6 - 3,3	4 - 6
3	Brisa débil	12 - 19	3,4 - 5,4	7 - 10
4	Brisa moderada	20 - 28	5,5 - 7,9	11 - 16
5	Bisa fresca	29 - 38	8 - 10,7	17 - 21
6	Brisa fuerte	39 - 49	10,8 - 13,8	22 - 27

7	Viento fuerte	50 – 61	13,9 – 17,1	28 – 33
8	Viento duro	62 – 74	17,2 – 20,7	34 – 40
9	Temporal fuerte	75 – 88	20,8 – 24,4	41 – 47
10	Temporal duro	89 – 102	24,5 – 28,4	48 – 55
11	Tormenta o borrasca	103 – 117	28,5 – 32,6	56 – 63
12	Huracán	>118	>32,7	>64

Fuente de Datos: MEER, 2013

Para tener medidas más exactas y poder cuantificar la potencialidad del viento, se requiere medir la velocidad con un instrumento llamado anemómetro. La metodología indica que se debe realizar un monitoreo por un periodo entre 6 a 12 meses, midiendo la velocidad en intervalos de 10 a 30 minutos a una altura entre 5 a 10 metros sobre el nivel referencial del suelo (m.s.n.r.s). Las condiciones dependen del tipo de proyecto, en proyectos de pequeña escala las condiciones pueden ser menos rígidas y únicamente requiere una estación, mientras que en proyectos de gran escala es necesario mediciones más exactas y requieren varias estaciones anemométricas emplazadas de 1 a 2 km entre sí (Hernandez Rosales & Ortega Vega, 2010).

La dirección del viento se mide con veletas y se registra la medida en sistemas cartesianos rectangulares o polares en puntos, o en función de circunferencia en grados. Las veletas se referencian al campo usando una brújula (Hernandez Rosales & Ortega Vega, 2010).

La rosa de vientos es un gráfico que ilustra la el comportamiento del viento en un punto dado al indicar la dirección del viento en relación con la frecuencia o velocidad del mismo. Saber las direcciones predominantes y su potencia respectiva es de suma importancia para evaluar efectos del suelo u obstáculos que puedan actuar sobre los aerogeneradores (Hernandez Rosales & Ortega Vega, 2010). La Ilustración 6 muestra un ejemplo de una rosa de vientos.

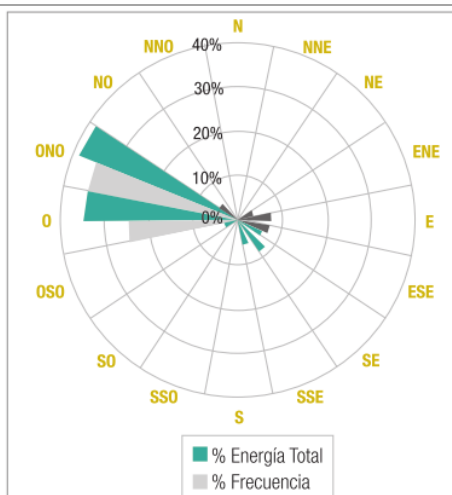


Ilustración 6 – Ejemplo de una rosa de vientos

Fuente: MEER, 2013

3.4.2 Descripción de metodología para determinar potencialidad eólica

Un mapa topográfico es necesario para analizar el entorno inmediato del sitio de interés. Se debe identificar ciertos rasgos topográficos como montañas, planadas y cuerpos de agua ya que estos juegan un rol importante en definir el comportamiento del viento. En zonas montañosas, por ejemplo, la presencia de colinas cercanas con pendientes pronunciadas y un terreno irregular puede causar que el viento se vuelva turbulento. Por otro lado, colinas con pendientes no pronunciadas y una cima plana producen flujos de vientos laminares. Otro fenómeno que se da en zonas montañosas es el efecto túnel, en donde el viento circula de un espacio abierto a uno más cerrado causando que su velocidad aumente. En zonas planas, como cerca de superficies de agua, el viento es usualmente constante y regular (Vaca & Jara, 2015).

La medición de la velocidad del viento para la determinación de la potencia energética eólica en el sitio de estudio se puede realizar con una estación meteorológica emplazada de 5 a 10 m.s.n.r.s. Ya que los generadores eólicos se emplazan a alrededor de 20 m.s.n.r.s., es necesario modelar el perfil vertical del viento para poder estimar la velocidad del viento a esta altura. La velocidad del viento a alturas menores de 200 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m) se ve altamente influenciada por la orografía del terreno alrededor del punto de monitoreo. Los obstáculos naturales (árboles, montañas y cerros) y los obstáculos humanos (edificios y cultivos) tienden a reducir la velocidad del viento y hacerlo más turbulento. Esta relación entre la velocidad y la altura sobre el terreno se conoce como cizalladura vertical y se puede calcular mediante la ecuación de Ley Potencial simplificada de la ecuación de Ludwig Prandtl utilizada en mecánica de fluidos (Vaca & Jara, 2015):



$$v(z) = v_i * \left(\frac{z}{z_i}\right)^\alpha \quad (1)$$

En donde:

$v(z)$ – velocidad a una altura z

v_i – velocidad inicial

z_i – altura a la que se produce v_i

α – coeficiente de rugosidad (en tablas)

La rugosidad mide la complejidad del terreno en relación a los obstáculos presentes. Mientras más complejo sea el paisaje, ya sea con la presencia de árboles o edificios, más alto será el índice. A su vez, mientras más alto sea el índice, más ralentización del viento.

Otro factor que es necesario tomar en cuenta es la densidad del aire ya que la energía del viento es directamente proporcional a su densidad. A mayor densidad mayor energía del viento. Este dato se puede obtener directamente de la estación meteorológica que va a llevar a cabo el monitoreo, o se puede calcular mediante la siguiente ecuación adoptada por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) del Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM) (Vaca & Jara, 2015):

$$\rho = \frac{0,34848p - 0,009h_r * e^{0,061t}}{273,15 + t} \quad (2)$$

En donde:

ρ - densidad del aire (kg/m^3)

p – presión atmosférica (hPa)

h_r – humedad relativa del aire (%)

t – temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$)

Con esta información, se puede calcular la potencia del viento mediante la siguiente formula:

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (3)$$

En donde:

P – potencia (W)

ρ – densidad del aire (kg/m^3)

A – área de una sección transversal al flujo del aire (m^2)

V – velocidad del viento (m/s)

Esta potencia calculada indica un valor ideal que no toma en cuenta las pérdidas que tiene el sistema. Las pérdidas incluyen el coeficiente de potencia (la relación entre la potencia que extrae

la turbina a comparación con la potencia disponible del viento), y el límite de Betz, (el rendimiento mecánico de la turbina) (Vaca & Jara, 2015). Se puede estimar la capacidad que tiene un aerogenerador de producir energía con una curva de potencia, el cual relaciona la velocidad del viento con la potencia estimada. Usualmente estas curvas vienen dadas por el fabricante del aerogenerador en donde se detalla diversas curvas referentes a las diferentes densidades del viento (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2013).

Posteriormente, para el cálculo de la energía eólica potencial que se tendrá en un año se realiza un análisis estadístico conocido como la Distribución de Weibull. Este análisis estudia la distribución de frecuencias en una serie de velocidades del viento que puede ser ajustada a una distribución de densidad de probabilidad. Se cuantifica la frecuencia (%) que se tendría una determinada velocidad del viento a lo largo del año (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2013). La Ilustración 7 presenta un ejemplo de la distribución de Weibull.

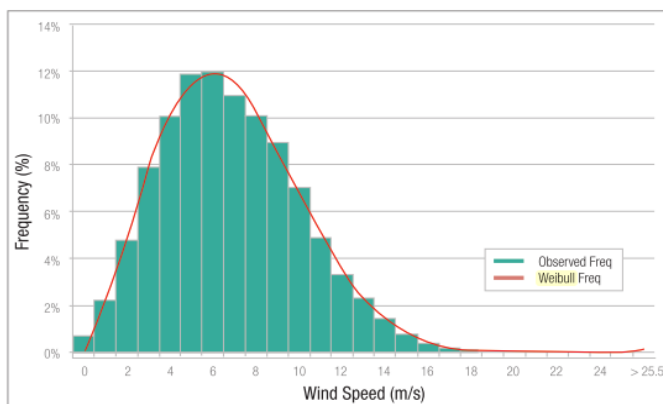


Ilustración 7– Ejemplo de la Distribución de Weibull

Fuente: MEER, 2013

De esta manera se puede calcular de manera aproximada la producción de un aerogenerador mediante la siguiente expresión (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2013):

$$Pot = \int_0^{\infty} p(U) * W(U) * dU \quad (4)$$

En donde:

$p(U)$ – función de densidad de probabilidad de Weibull

$W(U)$ – curva de potencia (en función de la velocidad)

3.5 Investigación de disponibilidad del recurso solar

La energía solar es una fuente inagotable de energía y su disponibilidad en el Ecuador es extensa debido a su privilegiada ubicación geográfica. Por esta razón, la energía solar fotovoltaica es una



alternativa con alto potencial de satisfacer un sistema de electrificación aislada cuando otros recursos, como eólico, no resulta ser factible en una zona.

3.5.1 Técnica e instrumentos de recolección de datos

La radiación solar se puede medir en una estación meteorológica *in situ* y, debido a que este recurso es constante a través de grandes espacios, es posible triangular datos de estaciones relativamente lejanas. Adicionalmente, con la revisión de bibliografía, bases de datos satelitales y atlas publicados se puede encontrar un valor confiable para dimensionar un sistema solar fotovoltaico.

3.5.2 Metodología

Para aprovechar la energía solar fotovoltaica es necesario identificar la disponibilidad del recurso en el área. Con la finalidad de incentivar el uso masivo de energía solar, el CONELEC elaboró el “Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica” en el año 2008, en donde se puede encontrar un promedio mensual y anual de insolación global (difusa y directa) para todo el Ecuador. Se recomienda tomar el dato para el mes menos favorable para la región dada para el cálculo del dimensionamiento del sistema.

El diseño de un sistema solar fotovoltaico aislado de la red requiere calcular la dimensión de los módulos fotovoltaicos, el banco de baterías y el inversor. Existen dos maneras de realizar estos cálculos: la técnica simplificada (detallada en Vaca & Jara, 2015) y la técnica propuesta por el CONELEC en el mismo atlas.

Método simplificado:

Cálculo de número de baterías

Determinación de la energía real necesaria:

$$ERN = \frac{Lcc * N}{ng * ni} \quad (5)$$

En donde:

ERN – energía real necesaria (Wh)

Lcc – demanda energética del día con mayor consumo (Wh/d)

N – días de autonomía (d)

ng – eficiencia de carga y descarga de la batería (%), en catalogo

ni – eficiencia de inversor, en catalogo

Determinación de la capacidad del sistema de acumulación:

$$CB_{wh} = \frac{ERN}{DOD*(1-nc)} \quad (6)$$

En donde:

CB_{wh} – capacidad de acumulación del sistema (Wh)

DOD – profundidad de descarga (%)

nc – pérdidas por efecto Joule (se considera un valor de 0,05 para este tipo de sistemas)

Determinación de la dimensión del sistema de acumulación:

$$CB_{ah} = \frac{CB_{wh}}{V} \quad (7)$$

En donde:

CB_{ah} – dimensión del sistema de acumulación (Ah)

V – voltaje de baterías (V)

Cálculo del número de baterías:

$$No. Baterías = \frac{CB_{ah}}{Ah} \quad (8)$$

En donde:

Ah – capacidad de descarga 20hr (Ah)

Cálculo de número de paneles:

$$No \text{ Paneles} = \frac{ER_{dia}}{Wpp*G*(1-nc)} \quad (9)$$

En donde:

ER_{dia} – energía real necesaria para un día (Wh)

Wpp – Potencia pico del panel (W)

G – radiación solar del mes más desfavorable (kWh/m²)

nc – pérdidas por el efecto Joule (se estima un valor de 0,05 para este tipo de instalaciones)

Método del CONELEC

Determinación de corriente pico del módulo:

Cálculo de la carga diaria corregida:

$$CDC = \frac{Lcc*fs}{Ts} \quad (10)$$

En donde:

Lcc – carga total para 2 días de autonomía (Wh/d)

fs – factor de seguridad del sistema (1,3 propuesto por CONELEC)



T_s – tensión del sistema en corriente continua (V)

CDC – carga diaria corregida en corriente continua (Ah)

Determinación del corriente pico del sistema:

$$Cps = \frac{CDC}{G} \quad (11)$$

En donde:

Cps – corriente pico del sistema (A)

G – Radiación solar (kWh/m^2)

Determinación del número de paneles:

$$No. \text{ Paneles} = \frac{Cps * Ts}{Cpm * Tnp} \quad (12)$$

En donde:

Cpm – Corriente nominal del panel (A)

Tnp – tensión nominal del panel (V)

Dimensionamiento del banco de baterías:

Capacidad total de baterías:

$$CB = \frac{LCC * N}{DOD} \quad (13)$$

En donde:

CB – capacidad total corregida de batería (Ah)

N – número de días de reserva (d)

DOD – profundidad de descarga de baterías (%)

Arreglo de baterías en paralelo:

$$Bp = \frac{CB}{CBn} \quad (14)$$

En donde:

Bp – número de baterías en paralelo

CBn – capacidad nominal de la batería, en catalogo (Ah)

Arreglo de baterías en serie:

$$Bs = \frac{Ts}{Tnb} \quad (15)$$

En donde:

Bs – número de baterías en serie



T_{nb} – tensión nominal de baterías, en catalogo (V)

Número total de baterías:

$$B_{total} = B_p * B_s \quad (16)$$

Tanto el número de baterías como el número de paneles se redondea a la unidad inmediata superior y se procura tener un número par para facilitar el arreglo del sistema (Consejo Nacional de Electricidad, 2008).

Dimensionamiento del inversor

La capacidad del inversor se rige a la carga máxima pico de corriente alterna, el cual se puede identificar en el perfil de demanda horaria. Para el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico es necesario tomar en cuenta la eficiencia de este equipo; el dato está dado por el fabricante. En el método simplificado se toma en cuenta la eficiencia del inversor al calcular la ERN. En el método el CONELEC este dato ya está tomado en cuenta en el factor de corrección que proponen.

En el capítulo 4 se presenta el proceso del levantamiento de información, el análisis realizado y la interpretación de los resultados para el recurso eólico y solar de San Rafael de Sharug.

4. MEMORIA TÉCNICA

4.1 Determinación de la Demanda Eléctrica del Proyecto

Debido a que el auditorio aún está en etapa de construcción, el diseño eléctrico del mismo aún no está completamente definido. Por tanto, la cuantificación de la demanda eléctrica de este proyecto se basó en entrevistas con el presidente de la junta parroquial y un esquema preliminar del diseño eléctrico realizado por el estudiante de Ingeniería Eléctrica Adrián Pauta Aguilar, en el año 2016 (Anexo 1). El presidente de la junta parroquial, Sr. Luis Yanes, en su entrevista detalló que el auditorio será utilizado para todo tipo de eventos como misas, capacitaciones, eventos comunitarios y festividades, y manifestó sus aspiraciones en cuanto a los equipos que desearía ver en el auditorio para brindar la mejor funcionalidad al espacio.

Para la determinación de la demanda eléctrica se listó todos los equipos que van a ser utilizados en el auditorio (Tabla 5).

Tabla 5- Descripción de los equipos a ser instalados en el auditorio

UBICACIÓN	EQUIPO	POTENCIA UNITARIA (W)	CANTIDAD	POTENCIA TOTAL (W)
Iluminación central	ENDO ERS4451W Spot Light (1x3000 TYPE) ₁	37,1	11	408,1
	ENDO GERG5377S-T High-Bay Base Light ₁	86,8	11	954,8
Iluminación periferal	Philips FWG201 2XPL-C/4P18W HF (2XPL-C/4P18W/840) ₁	18	11	198
Iluminación baño	Philips TCS260 1XTL5-28W HFP M2 (1XTL5-28W/840) ₁	56	2	112
	Enchufe Doble	200	11	2200
Cabina de control	Proyector: EPSON PowerLite Pro G605(WXGA 3LCD	421	1	421
	Parlantes: YAMAHA NS-AW992 (Par)	60	2	120
	Computadora: HP All-in-One Desktop - i b020t	100	1	100
	Computadora: HP All-in-One Desktop - i b020t (STAND BY)	2	1	2
	Pantalla Eléctrica: FAVI electric projector screen 16:9 150"	700	1	700

Fuente de Datos: Pauta, 2016 y Autora

1. Equipos especificados en el plan eléctrico preliminar (Anexo 1)

Debido a que este proyecto es un auditorio, es importante tener un sistema de iluminación adecuado, razón por la cual se decidió mantener los equipos especificados en el diseño preliminar, las condiciones técnicas de los equipos restantes se determinaron de acuerdo a la entrevista.

Se ha establecido 4 distintos patrones de uso horario de las instalaciones dependiendo del día de la semana. Para el sistema de iluminación y los enchufes multiuso se utilizó un factor de simultaneidad ya que no se prevé que estos trabajen siempre a su máxima potencia. Los días domingos el espacio será utilizado después del medio día debido a que se celebra la misa y se lleva a cabo el mercado por las horas de la mañana en el centro de la parroquia. Adicionalmente no se estima que se utilice el espacio después de las 20H00 porque el día siguiente es un día laboral. Entre los lunes a jueves, al ser días laborables, se estima un uso mínimo, únicamente en las tardes después de las 15H00 hasta las 20H00. Los viernes el consumo energético inicia a las 15H00 porque los habitantes aún tienen actividades rutinarias durante el día, pero el consumo se extiende hasta las 00H00 porque el auditorio se utilizará para todo tipo de evento social. Los sábados son los días con mayor consumo energético debido a que es un día de descanso y los habitantes de la parroquia tienen la disponibilidad de asistir a cualquier evento social que se esté llevando a cabo. Siempre se recomienda manipular la pantalla eléctrica en horas donde el consumo de energía sea mínimo debido a la alta potencia del equipo. Con esta información se determina la energía requerida por equipo y por día (Tablas 6 a 9).

Tabla 6 - Perfil de demanda energética para los domingos

DOMINGO						
EQUIPO	POTENCIA (W)			HORAS DE USO	USO (h/d)	ENERGIA (Wh/d)
Sistema de iluminación	1673	70%	1171.03	18:00 – 20:00	2	2342.06
Proyector: EPSON PowerLite Pro G6050W WXGA 3LCD	421	1	421	13:00 – 18:00	5	2105
Parlantes: YAMAHA NS-AW992 pair	60	2	120	14:00 – 18:00	4	480
		1	60	12:00 – 14:00	2	120
Computadora: HP All-in-One Desktop – 22-b020t	100	1	100	12:00 – 20:00	8	800
Computadora en STAND BY	2	1	2	20:00 – 12:00	16	32
Enchufe Multiuso – Factor simultaneidad 0.35	200	6	420	14:00 – 18:00	4	1680
Pantalla eléctrica: FAVI electric projector screen 16:9 150"	700	1	700	11:00 – 11:01	0.017	11.9
				20:00 – 20:01	0.017	11.9
TOTAL						7559.06



Fuente: Autora

Tabla 7- Perfil de demanda energética de lunes a jueves

LUNES – JUEVES						
EQUIPO	POTENCIA (W)			HORAS DE USO	USO (h/d)	ENERGIA (Wh/d)
Sistema de iluminación	1673	70%	1171.03	18:00 – 20:00	2	2342.06
Proyector: EPSON PowerLite Pro G6050W WXGA 3LCD	421	1	421	17:00 – 18:00	1	421
Parlantes: YAMAHA NS-AW992 pair	60	1	60	15:00 – 18:00	3	180
Computadora: HP All-in-One Desktop – 22-b020t	100	1	100	15:00 – 18:00	3	300
Computadora en STAND BY	2	1	2	18:00 – 15:00	21	42
Enchufe Multiuso – Factor simultaneidad 0.35	200	6	420	15:00 – 18:00	3	1260
Pantalla eléctrica: FAVI electric projector screen 16:9 150”	700	1	700	14:00 – 14:01	0.017	11.9
				20:00 – 20:01	0.017	11.9
TOTAL						4545.06

Fuente: Autora

Tabla 8 - Perfil de demanda energética para los viernes

VIERNES						
EQUIPO	POTENCIA (W)			HORAS DE USO	USO (h/d)	ENERGIA (Wh/d)
Sistema de iluminación	1673	70%	1171.03	19:00 – 22:00	3	3513.09
		40%	669.16	18:00 – 19:00	3	2007.48
				22:00 – 00:00		
Proyector: EPSON PowerLite Pro G6050W WXGA 3LCD	421	1	421	19:00 – 22:00	3	1263
Parlantes: YAMAHA NS-AW992 pair	60	2	120	18:00 – 20:00	2	240
		1	60	15:00 – 18:00	7	420
				20:00 – 00:00		
Computadora: HP All-in-One Desktop – 22-b020t	100	1	100	15:00 – 23:00	8	800
Computadora en STAND BY	2	1	2	23:00 – 15:00	16	32
Enchufe Multiuso – Factor simultaneidad 0.35	200	6	420	19:00 – 22:00	3	1260
Pantalla eléctrica: FAVI electric projector screen 16:9 150"	700	1	700	14:00 – 14:01	0.017	11.9
				23:59 – 00:00	0.017	11.9
TOTAL					9535.57	

Fuente: Autora

Tabla 9 - Perfil de demanda energética para los sábados

SÁBADO						
EQUIPO	POTENCIA (W)		HORAS DE USO		USO (h/d)	ENERGIA (Wh/d)
Sistema de iluminación	1673	70%	1171.03	19:00 – 22:00	3	3513.09
		40%	669.16	18:00 – 19:00 22:00 – 00:00	3	2007.48
Proyector: EPSON PowerLite Pro G6050W WXGA 3LCD	421	1	421	19:00 – 22:00	3	1263
Parlantes: YAMAHA NS-AW992 pair	60	2	120	18:00 – 20:00	2	240
		1	60	13:00 – 18:00 20:00 – 00:00	9	540
Computadora: HP All-in-One Desktop – 22-b020t	100	1	100	12:00 – 23:00	11	1100
Computadora en STAND BY	2	1	2	23:00 – 11:00	12	24
Enchufe Multiuso – Factor simultaneidad 0.35	200	6	420	19:00 – 22:00	3	1260
Pantalla eléctrica: FAVI electric projector screen 16:9 150"	700	1	700	11:00 – 11:01	0.017	11.9
				23:59 – 00:00	0.017	11.9
TOTAL					9947.57	

Fuente: Autora

El gráfico 1 muestra la demanda energética por día de la semana (en kWh) y se puede identificar que los días con mayor demanda son viernes y sábado con una potencia requerida de aproximadamente 9.5 kWh y 10 kWh, respectivamente.

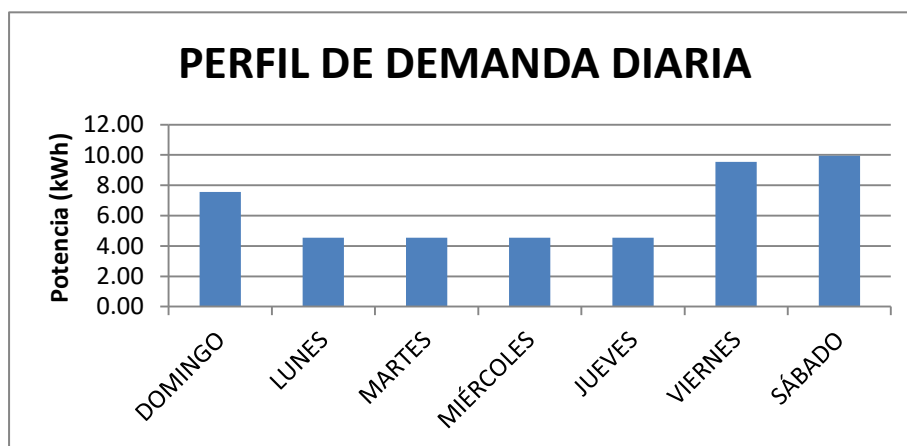


Gráfico 1– Perfil de demanda energética por día de la semana

Fuente: Autora

El Gráfico 2 presenta el perfil de demanda horaria de potencia (en kW) para cada perfil de demanda diaria. Para los viernes y sábados las horas de mayor consumo son desde las 19H00

hasta las 21H00, mientras que los días domingo a jueves se identifica el pico de consumo entre las 18H00 hasta las 19H00. La potencia pico llega a aproximadamente 2.2 kW para los días sábados. Este es un valor clave para identificar la correcta dimensión del transformador.

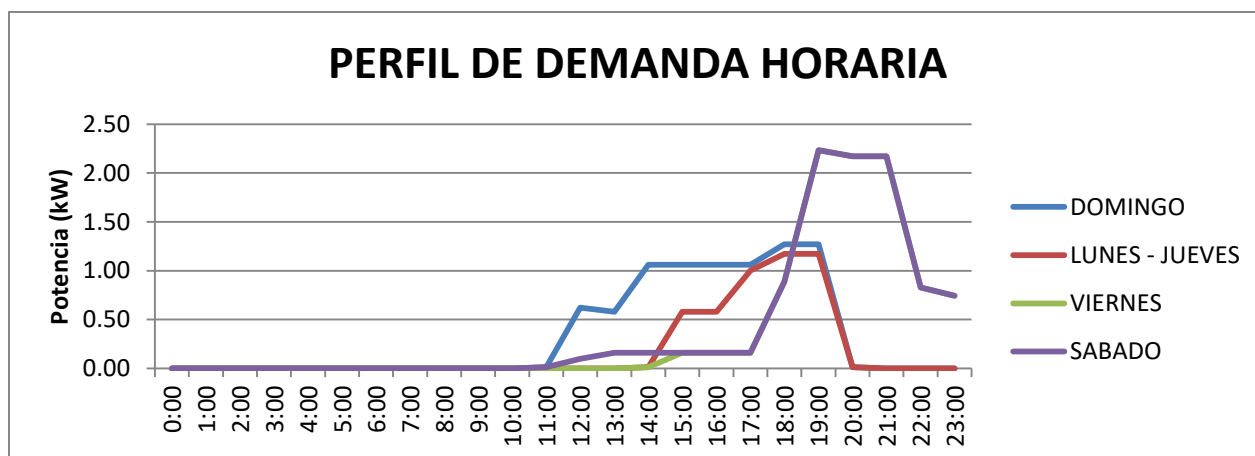


Gráfico 2 - Perfil de demanda energética horaria

Fuente: Autora

4.2 Técnica de procesamiento de datos

Inicialmente se eligió realizar un estudio de pre-factibilidad para la instalación de generadores eólicos en San Rafael de Sharug debido a que el recurso viento indicaba tener gran potencialidad en la región. Los moradores manifestaban que en los meses entre junio y septiembre el viento es tan fuerte que levanta los techos de zinc de las viviendas. Adicionalmente, el Atlas Eólico del Ecuador indica que el sur de la provincia del Azuay es una de las regiones más ventosas del país. En general, San Rafael de Sharug indica tener una velocidad promedio de 5 – 5.5 m/s medido a 50 m.s.n.m. (Ilustración 8). Para mayor detalle sobre potencialidad del viento de acuerdo al Atlas Eólico ver Anexo 2.

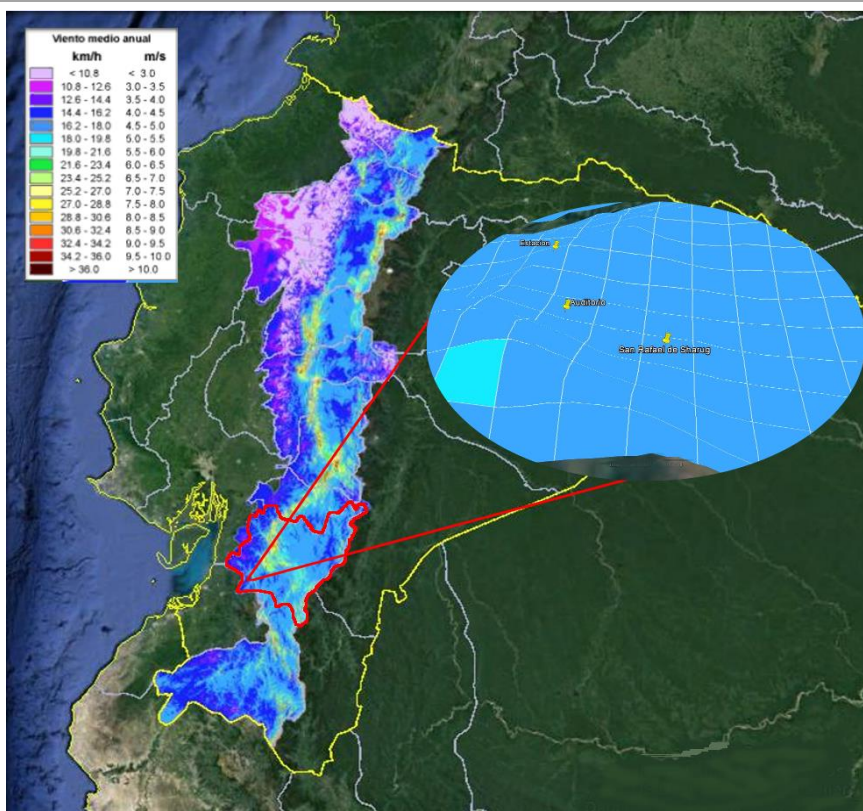


Ilustración 8 – Velocidad del viento a 50 m.s.n.m. del Atlas Eólico del Ecuador especificando San Rafael de Sharug

Fuente: MEER, 2008; Edición: Autora

Adicionalmente, la topografía de San Rafael de Sharug es favorable ya que las pendientes no son escarpadas y existe un corredor intra-montañoso de este a oeste. La Ilustración 9 muestra la topografía de la parroquia (Anexo 3).

TOPOGRAFÍA DE SAN RAFAEL DE SHARUG

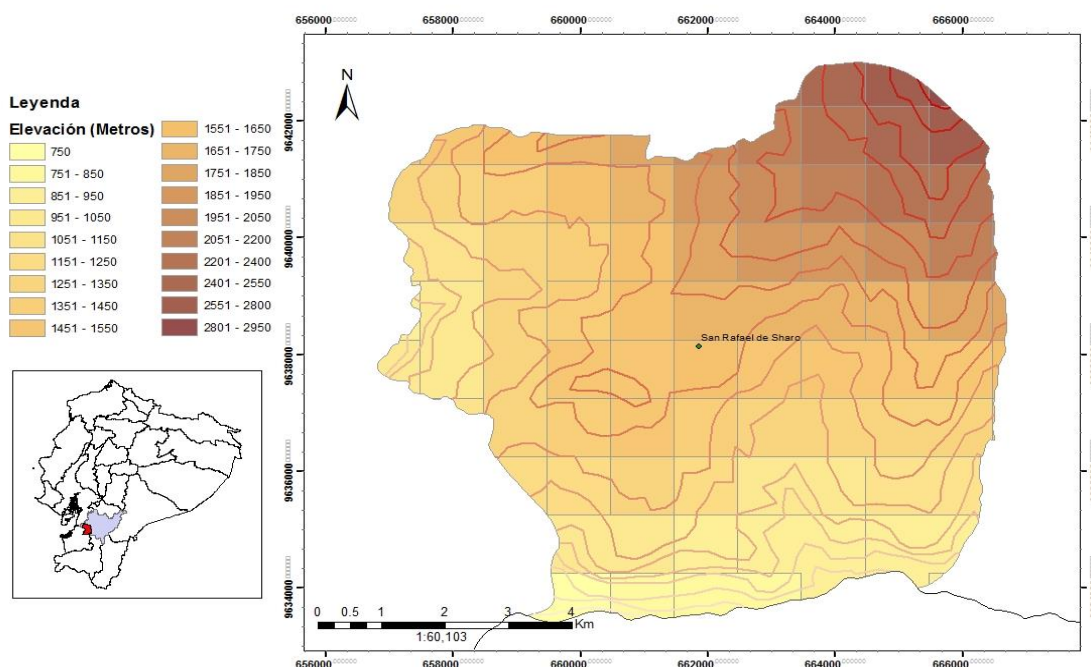


Ilustración 9 - Mapa topográfico de San Rafael de Sharug

Fuente de Datos: UTM WGS84 (2011), Edición: Autora

En las Ilustraciones 10 y 11 se puede apreciar la topografía y vegetación del área. El auditorio está ubicado en una colina sin obstáculos significativos. La alineación de las montañas desde el este forma un corredor, lo cual potencialmente puede ayudar en la canalización del viento.



Ilustración 10 - Vista panorámica Este – Sur desde punto de construcción del auditorio

Fuente: Autora



Ilustración 11 - Vista panorámica Oeste – Norte desde punto de construcción del auditorio

Fuente: Autora

4.2.1 Levantamiento de información

Con el objetivo de verificar el potencial eólico, se instaló una estación meteorológica para la recopilación de los datos de velocidad y dirección del viento. Esta estación fue instalada a 1768 m.s.n.m en las coordenadas S 3,27132 y O 79,55318. El punto elegido es beneficioso al encontrarse cercano al auditorio. Se puede observar en la Ilustración 12 el relieve del terreno y afirmar que el auditorio y la estación meteorológica se encuentran a mayor elevación que el centro parroquial de San Rafael de Sharug. La vegetación consta de arbustos y hierbas, lo cual afecta mínimamente el perfil del viento. En la Ilustración 13 se muestra la ubicación de la estación meteorológica y el panorama hacia el Este y Oeste.

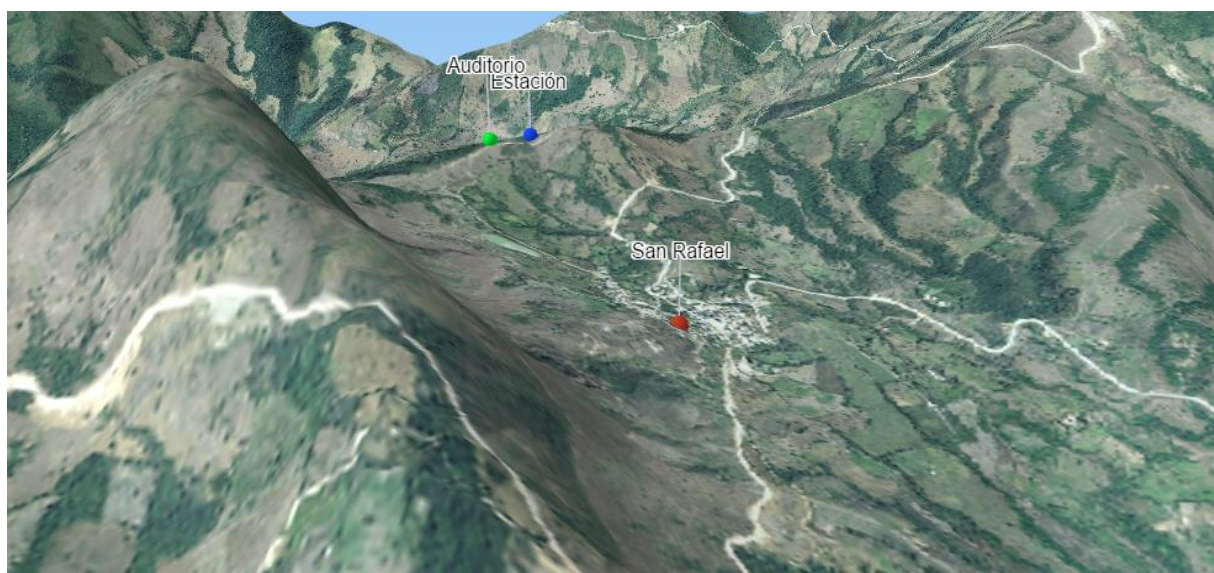


Ilustración 12 - Vista hacia el noroeste de la ubicación de los puntos críticos

Fuente: Autora



Ilustración 13 - Vista hacia el Oeste (derecha) y panorama hacia el Este (izquierda) desde la estación meteorológica

Fuente: Autora

La estación meteorológica es de marca DAVIS Instruments modelo VantageVue Wireless Weather Station (Anexo 4), misma que fue facilitada por el GPA y fue calibrada por la empresa Sensor Vital – PathProfit en marzo de 2016. Esta estación tiene la capacidad de medir datos de temperatura, dirección, velocidad y corrida del viento, precipitación, humedad y densidad del aire. El monitoreo inició el 2 de mayo del 2016 y se extendió hasta el 9 de noviembre del 2016, por un periodo de 6 meses. Los datos se medían a 5 m.s.n.r.s y se registraban en intervalos de 30 min.

Se propuso comparar la información levantada en San Rafael de Sharug con otra estación meteorológica cercana para comprobar que la velocidad del viento es específica para cada sitio y que no se puede estimar una tendencia basándose en datos de otras estaciones. La estación meteorológica más cercana es Huascachaca operada por la empresa ElecAustro situada a 20 km al sudeste de San Rafael de Sharug en la vía Girón-Pasaje. Esta estación está ubicada a 1197 m.s.n.m y mide la velocidad del viento a 15 y 26 m.s.n.r.s. Los datos más recientes de esta estación fueron levantados desde noviembre del 2013 hasta octubre del 2014, ya que la estación fue desmantelada a finales del 2014. Para medir la correlación entre los dos grupos de datos se realizó el análisis estadístico prueba t-student en donde se comparó el promedio diario de la velocidad de viento para los dos grupos de datos. La prueba t-student es utilizada para comprobar si existe una diferencia significativa entre las medias de dos series de datos mediante la determinación de una hipótesis nula. En este caso, las series se refieren a las dos estaciones meteorológicas, San Rafael de Sharug y Huascachaca.



Para poder cuantificar la potencia del viento se calculó promedios de la velocidad diaria para cada mes al igual que la velocidad horaria cuantificada para la totalidad del tiempo de monitoreo. Con esta información se podía identificar tendencias de picos de velocidad para cada mes, el mes más favorable y la hora del día más favorable. Para cada mes se graficó la velocidad medida a 5 m.s.n.r.s. y se calculó la velocidad a 15 y 26 m.s.n.r.s para poder comparar con los datos de la estación de Huascachaca y estimar la velocidad a la altura en la cual se emplazaría las torres eólicas. Para el cálculo de la velocidad a las distintas alturas se utilizó un índice de rugosidad de 0,2. En ocasiones había periodos en donde no se registró datos, en este caso, si más del 50% de las horas de un día no tenían datos, se eliminaba todos los datos de ese día.

Para identificar la tendencia de la dirección del viento, se realizó gráficos de frecuencia y una rosa de vientos. Los gráficos de frecuencia identifican la incidencia de cierta velocidad en una determinada dirección a una hora específica. Así, se realizó gráficos para las direcciones predominantes graficando hora del día vs velocidad del viento con puntos. Más conglomeración de puntos indica una mayor frecuencia. La rosa de viento grafica este fenómeno más claramente, identificando dirección, frecuencia y velocidad del viento.

Con la cuantificación de la velocidad mensual promedio del viento a 15 m.s.n.r.s se calculó una velocidad promedio neta para todo el periodo de monitoreo para estipular la potencia energética del viento en esta zona. Se tomó como dato de densidad del aire el valor promedio que fue levantado durante el periodo de monitoreo.

4.3 Presentación de resultados

A continuación se identifica la correlación entre las medias diarias de las velocidades del viento a 15 m.s.n.r.s. de las estaciones Huascachaca y San Rafael de Sharug (Gráfico 3) mediante la prueba t-student (Tabla 10). Para este análisis se omitió el mes de julio por falta de datos de la estación Huascachaca. La hipótesis nula es: *no existe diferencia entre las medias de las dos series de datos.*

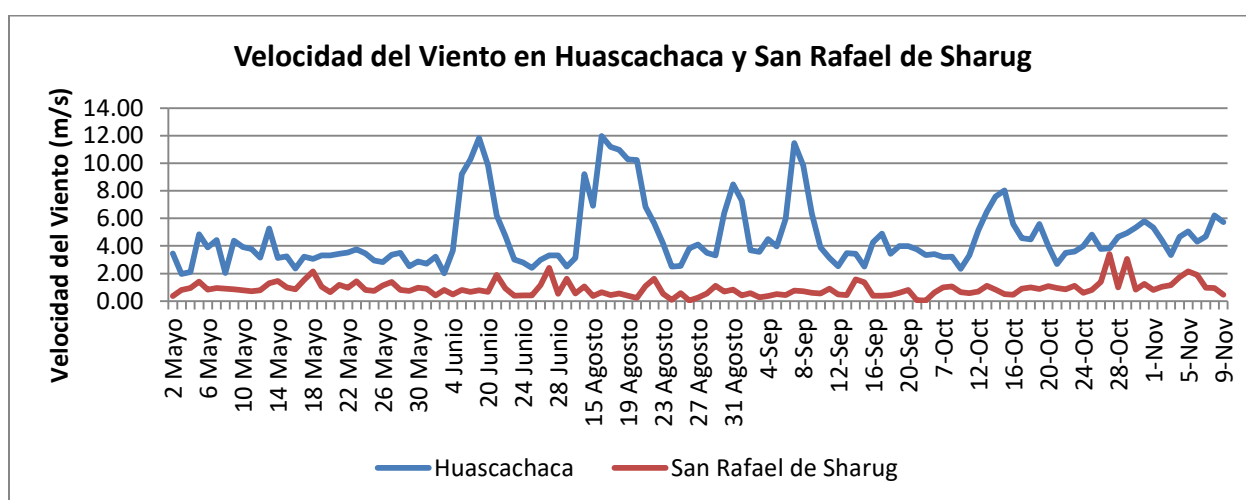


Gráfico 3- Comparación entre las velocidades del viento de las estaciones Huascachaca y San Rafael de Sharug

Fuente de Datos: ElecAustro S.A . (2014), Autora

Tabla 10 – Prueba t de student para los datos de las estaciones Huascachaca y San Rafael de Sharug

	Huascachaca	San Rafael de Sharug
Media	4.683901056	0.879409748
Varianza	5.514751058	0.285497086
Observaciones	121	121
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	132	
Estadístico t	17.37664763	
P(T<=t) dos colas	6.38524E-36	
Valor crítico de t (dos colas)	1.978098842	

Fuente: Autora

Para este análisis se utilizó un valor P de 0,05. Para comprobar la hipótesis nula es verdadera, el valor de P debe ser mayor a 0,025 (0,05/2) debido a que se toma el valor crítico de dos colas. Si este es el caso, se puede asumir que el estadístico no está debido al azar y por tanto, no existe una diferencia significativa entre las medias. En este caso, el P de dos colas es 6,38 E-36, lo cual es menor a 0,025. Consecuentemente, existe una gran diferencia entre las medias de las dos series de datos y no se puede considerar que exista una relación entre las mediciones comparadas.

A continuación se detalla las velocidades diarias promedio a 5, 15 y 26 m.s.n.r.s graficadas mensualmente en el sitio (Gráficos 4 hasta 10).

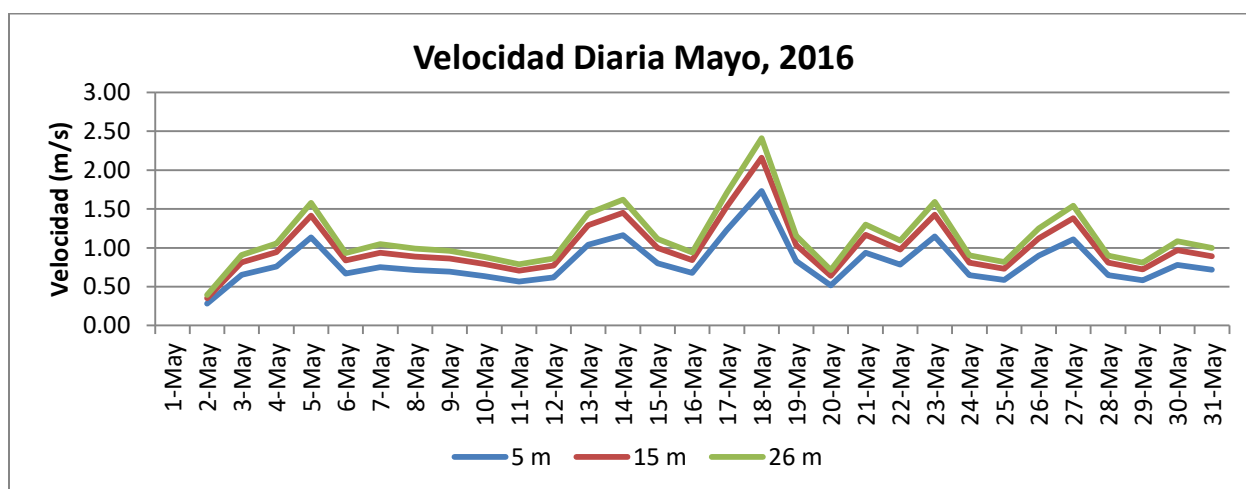


Gráfico 4 - Promedio diario de la velocidad del viento para el mes de mayo del 2016

Fuente: Autora

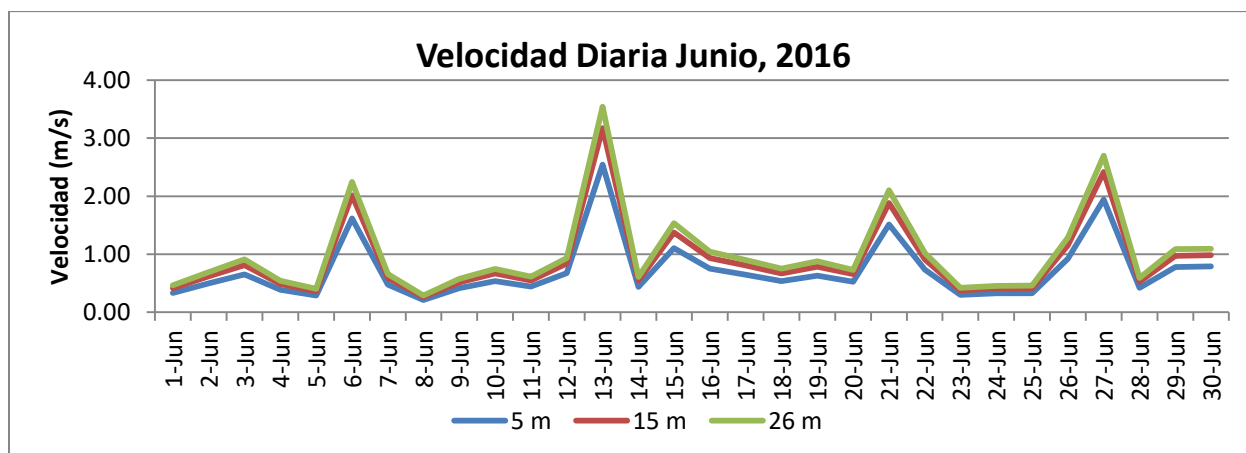


Gráfico 5 - Promedio diario de la velocidad del viento para el mes de junio del 2016

Fuente: Autora

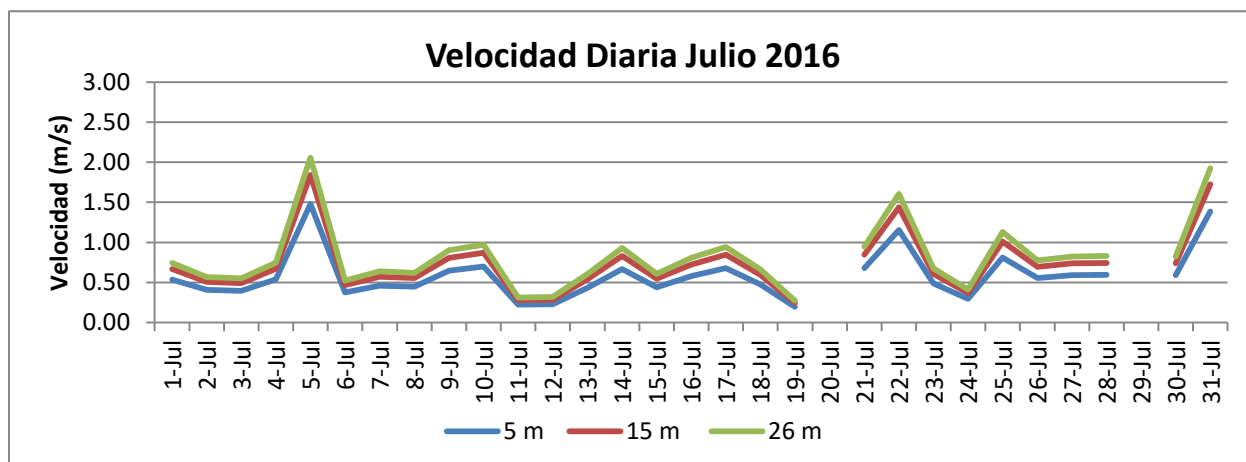


Gráfico 6 - Promedio diario de la velocidad del viento para el mes de julio del 2016

Fuente: Autora

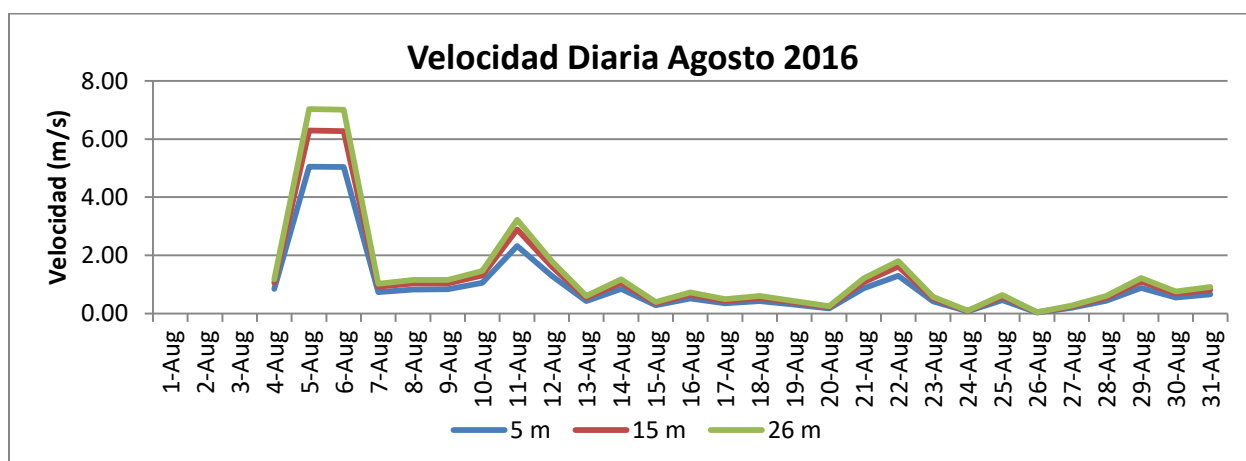


Gráfico 7 - Promedio diario de la velocidad del viento para el mes de agosto del 2016

Fuente: Autora

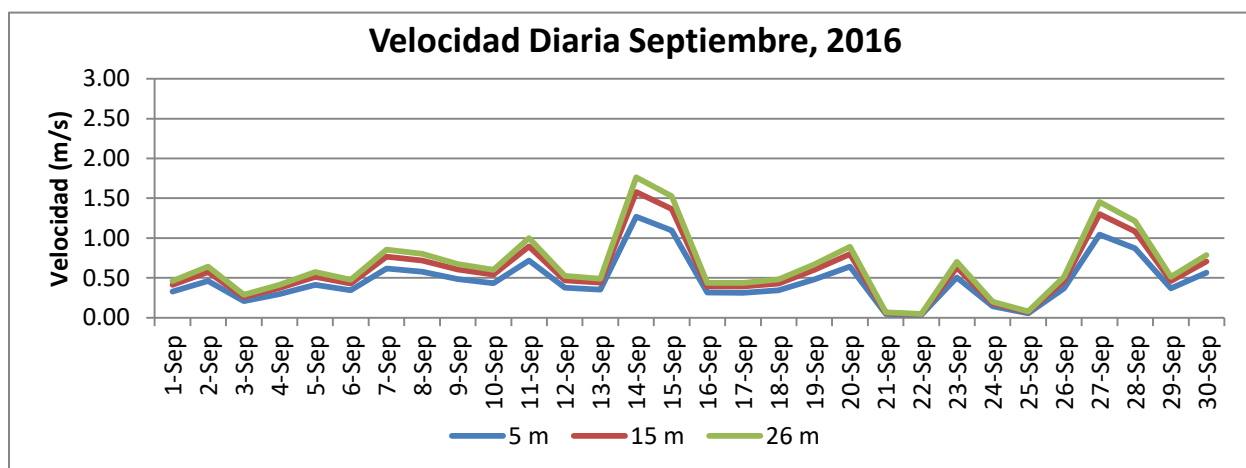


Gráfico 8 - Promedio diario de la velocidad del viento para el mes de septiembre del 2016

Fuente: Autora

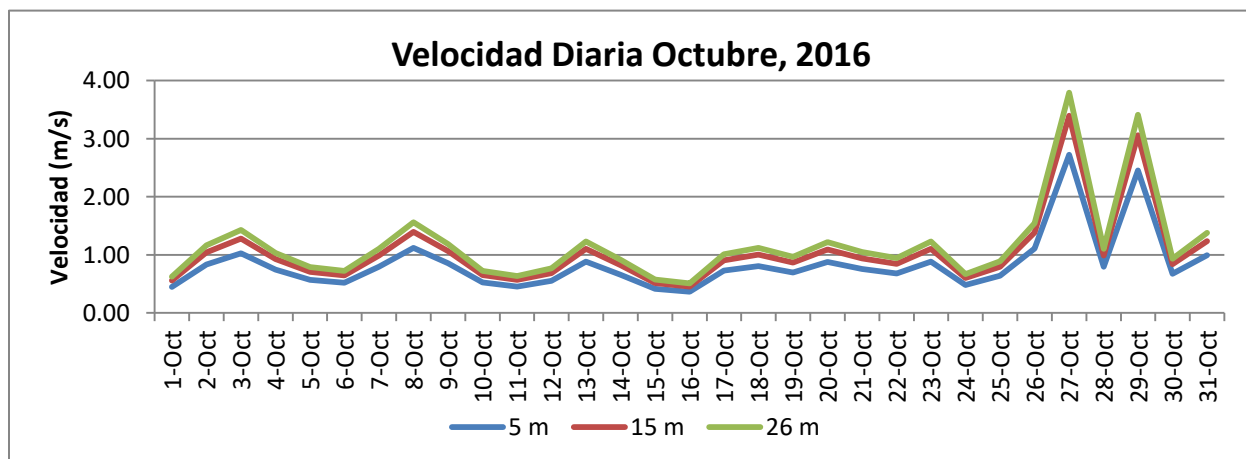


Gráfico 9 - Promedio diario de la velocidad del viento para el mes de octubre del 2016

Fuente: Autora

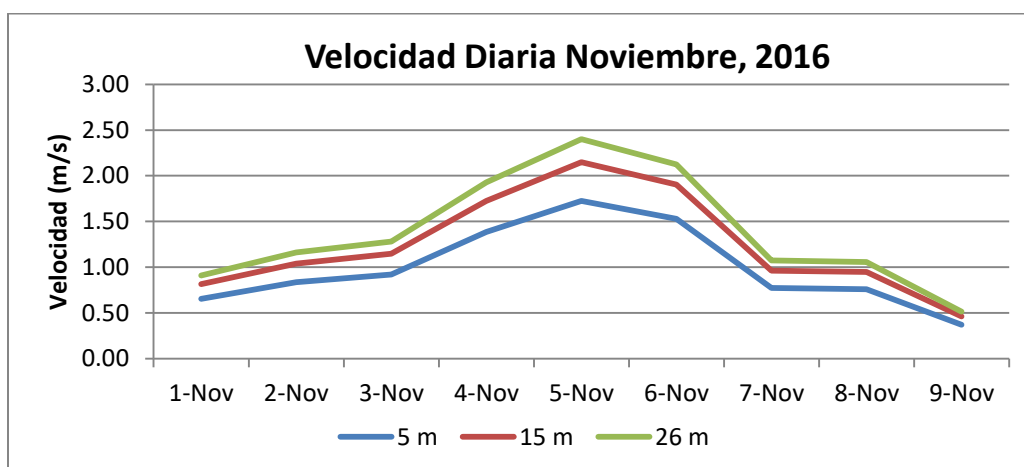


Gráfico 10 - Promedio diario de la velocidad del viento para el mes de noviembre del 2016

Fuente: Autora

En estos gráficos se puede identificar que el pico alto de velocidad ocurrió en agosto, alcanzando los 5 m/s medido a 5 m.s.n.r.s., la mayoría del tiempo se registró picos bajos que se acercan a los 0 m/s.

En el gráfico 11 se indica el promedio mensual de la velocidad del viento estimada a 15 m.s.n.r.s. Se puede estimar una velocidad promedio de 1 m/s, siendo el mes de agosto el mes más favorable, alcanzando una velocidad promedio de 1.2 m/s. Noviembre también indica un pico similar al de agosto, pero es importante tomar en cuenta que únicamente se está cuantificando los primero 9 días de ese mes.

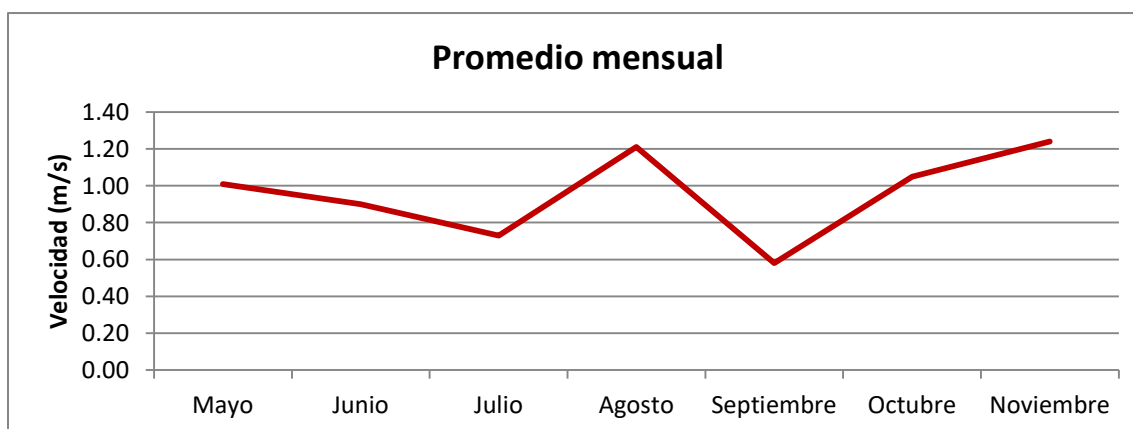


Gráfico 11 - Promedio mensual de la velocidad en San Rafael de Sharug

Fuente: Autora

El gráfico 12 indica la velocidad del viento a través del día. En general, las horas entre las 3 de la mañana hasta las 3 de la tarde tienen en promedio de velocidades más altas, siendo el pico a las 9 de la mañana con un promedio de 1.2 m/s medido a 5 m.s.n.r.s.

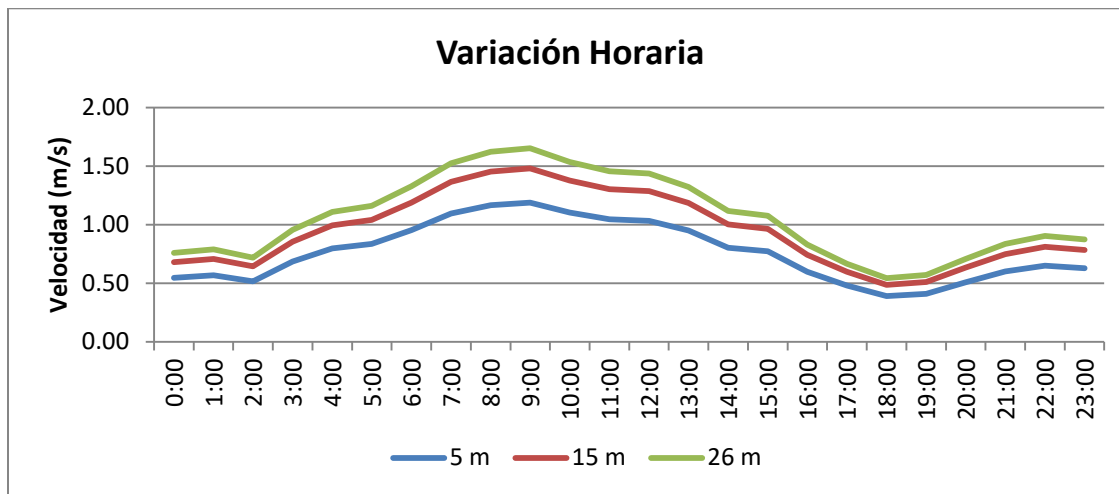


Gráfico 12 - Promedio horario del a velocidad del viento desde mayo hasta noviembre del 2016

Fuente: Autora

Los Gráficos 13 y 14 indican la frecuencia de incidencia del viento para las direcciones predominantes determinadas. En este caso, se identificó una clara relación entre la dirección del viento y ciertas horas del día. En la mañana, el viento se dirigía desde el oeste, mientras que en la tarde venía desde el este. Este fenómeno puede ser explicado por la topografía del sector. El punto de muestreo tenía montañas hacia el norte y sur, lo cual forma un tipo de barrera en cuanto al flujo del viento. Adicionalmente, muy cercanamente hacia el oeste de San Rafael de Sharug se encuentra la costa del Pacífico. Esta condición provoca el efecto de brisa en donde, durante el día el aire frío de la costa viaja hacia la tierra donde el aire está más caliente, y en la noche, el viento frío de la tierra se dirige hacia la costa en donde el aire está más caliente. Es importante notar que el viento desde el oeste es más fuerte, alcanzando velocidades de hasta 15 m/s medido a 5 m.s.n.r.s., pero su frecuencia es muy baja.

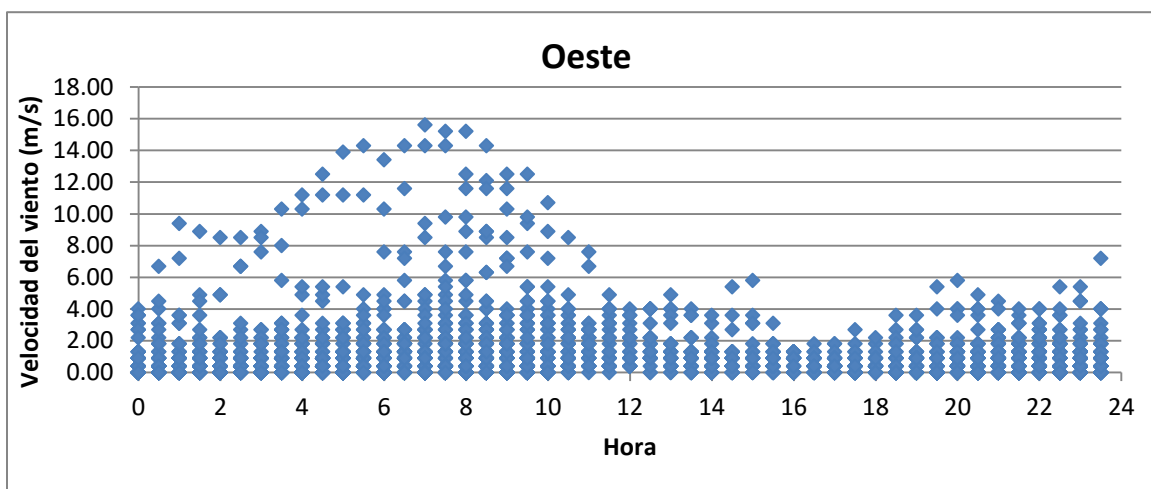


Gráfico 13 - Frecuencia del viento desde el oeste

Fuente: Autora

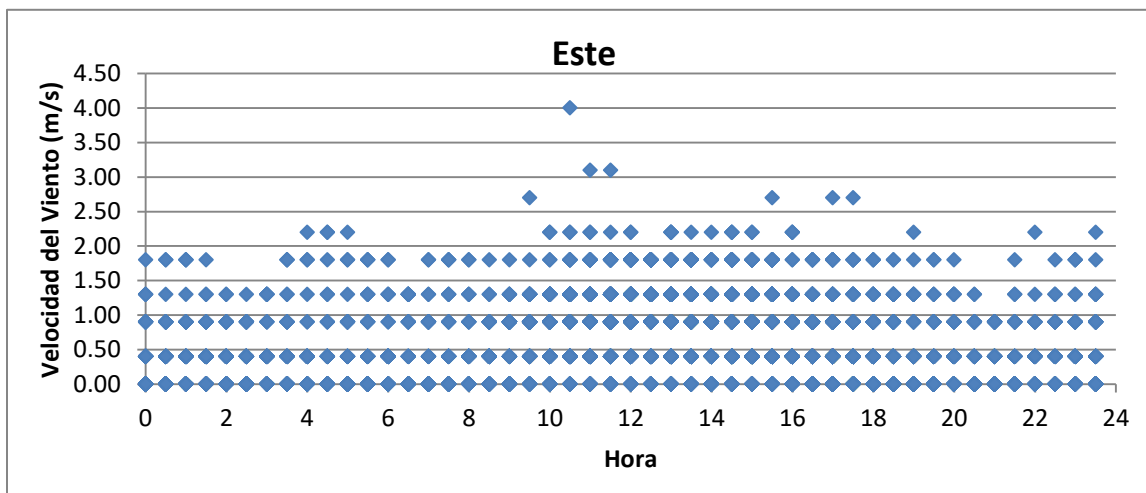


Gráfico 14– Frecuencia del viento desde el este

Fuente: Autora

El Gráfico 15 indica la rosa de vientos para San Rafael de Sharug. En esta ilustración se puede evidenciar que el viento predomina del oeste y el este, aproximadamente el 42% del tiempo el viento sopla directamente desde estas direcciones. Los colores indican las velocidades del viento, con muy poca frecuencia la velocidad ha excedido los 10 m/s y únicamente lo ha hecho con vientos provenientes del oeste.

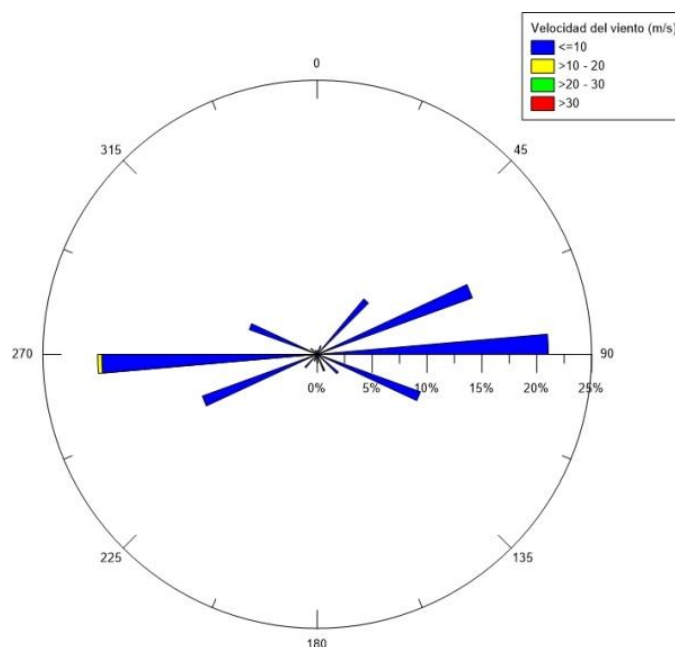


Gráfico 15 - Rosa de vientos para la estación meteorológica de San Rafael de Sharug

Fuente: Autora

El promedio neto de la velocidad del viento (Tabla 11) para el periodo de mayo hasta noviembre a 15 m.s.n.r.s es de 0,96 m/s.

Tabla 11- Promedio neto de la velocidad del viento para el periodo de mayo hasta noviembre del 2016

Mes	Velocidad promedio (m/s)
Mayo	1,009
Junio	0,9
Julio	0,73
Agosto	1,21
Septiembre	0,58
Octubre	1,05
Noviembre	1,24
Promedio neto	0,96

Fuente: Autora

Entonces, mediante la fórmula (1), podemos calcular la potencia del viento en San Rafael de Sharug. Para este cálculo se tomó la densidad del viento calculada promediando los datos de densidad del viento de todo el tiempo de monitoreo ($0,9616 \text{ kg/m}^3$). También se consideró un aerogenerador de pequeña escala modelo *Skystream 3.7* (<http://www.windenergy.com/products/skystream/skystream-3.7>) cuya área transversal del flujo es



10,87 m². Es importante notar que la velocidad de arranque para estos aerogeneradores es 3,5 m/s y la velocidad óptima es 13 m/s. Con la velocidad que se ha determinado para San Rafael de Sharug es imposible poner en marcha el equipo, no obstante se procedió a calcular una potencia teórica que produciría este aerogenerador.

$$P = \frac{0,9616 \frac{kg}{m^3} * 10,87m^2 * 0,96 \frac{m}{s}^3}{2}$$

En base a lo expuesto, el potencial de cada aerogenerador emplazado a 15 m.s.n.r.s. es de 4,62 W sin tomar en cuenta las pérdidas del sistema.

4.4 Conclusión

El recurso eólico debe cumplir ciertas características para poder ser aprovechado mediante aerogeneradores. Entre las condiciones más importantes se incluye la velocidad promedio y la corrida del viento. La corrida del viento se refiere a la distancia que una velocidad viaja en un periodo de tiempo. La velocidad promedio debe ser superior a 3 m/s en una altura de 10 m.s.n.r.s. con una corrida del viento significativa, mayor a cero.

El viento de San Rafael de Sharug se caracteriza por las ráfagas. En el intervalo de medición, el cual en este caso fue 30 minutos, la velocidad pico usualmente era alta pero la corrida del viento no era representativa, por lo que la mayoría del tiempo la velocidad promedio registraba ser muy cercana a cero. Consecuentemente, el comportamiento del viento no es el adecuado para poder aprovechar el recurso con las tecnologías disponibles. Se ha calculado que el potencial energético teórico para un aerogenerador estándar de pequeña escala, sin cuantificar las pérdidas, es aproximadamente 4,62 W, una potencia extremadamente baja. Al tener una velocidad promedio de 1,2 m/s en el mes más favorable, no se puede justificar una inversión en esta tecnología. Por esta razón, no se procedió a calcular los parámetros restantes, la distribución de Weibull y la curva de potencia.

No obstante, existen otros recursos que pueden ser utilizados para cumplir la meta de sustentabilidad que requiere este proyecto. El siguiente capítulo aborda el recurso solar como opción.

5. PROPUESTA

5.1 Descripción de aprovechamiento solar en la zona

En la actualidad, la parroquia San Rafael de Sharug no tiene proyectos que aprovechen el recurso solar. El centro de la parroquia dispone de electricidad proveniente de la red de la empresa Corporación Nacional de Electricidad (CNEL EP), pero los caseríos más lejanos carecen de energía eléctrica. En base a lo expuesto, es de suma importancia introducir la tecnología de aprovechamiento de la energía solar a los moradores del sector para dar a conocer todos los beneficios que ésta brinda.

5.1.1 Justificación

La energía que proviene del sol es prácticamente un recurso infinito ya que anualmente se dirige un equivalente a 178 000 TWh hacia la Tierra. Una gran cantidad de esta energía no puede ser directamente aprovechada ya que, al viajar por el espacio, 30% de la energía es reflejada en él. De la insolación restante que llega a la tierra, 20% permite la formación de vientos y alimentan la energía de los ciclos hidrológicos, y 50% es absorbida, convertida en calor y reenviada a la superficie terrestre. De estos últimos 50%, aproximadamente 40 000 TWh es energía calórica propiamente dicha (Consejo Nacional de Electricidad, 2008).

Según el Atlas Solar del Ecuador del 2008, el sur de la provincia del Azuay es altamente beneficiado por la insolación solar. El promedio anual de insolación global para la región de San Rafael de Sharug es 4350 Wh/m²/día.

Se propone dotar de electricidad al auditorio de San Rafael de Sharug mediante energía solar fotovoltaica. Si bien el auditorio tiene una demanda significativamente alta, esta puede ser satisfecha gracias a la alta disponibilidad de insolación en la región.

5.2 Técnica de procesamiento de datos

Como técnica para el dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico es necesario identificar el mes menos favorable de insolación solar y dimensionar el sistema de acuerdo a este criterio, con la finalidad de asegurar que siempre exista la insolación suficiente para satisfacer la demanda planteada.

En este caso, el Atlas Solar del Ecuador detalla la insolación global (directa y difusa) mensualmente (Tabla 12). Así, se identificó a enero como el mes menos favorable con una insolación promedio de 4050 Wh/m²/día (Ilustración 14).

Tabla 12 - Insolación mensual promedio para San Rafael de Sharug

Mes	Insolación (Wh/m ² /dia)
Enero	4.050
Febrero	4.350
Marzo	4.500
Abril	4.350
Mayo	4.350
Junio	4.200
Julio	4.200
Agosto	4.800
Septiembre	4.650
Octubre	4.800
Noviembre	4.950
Diciembre	4.650

Fuente de Datos: CONELEC, 2008

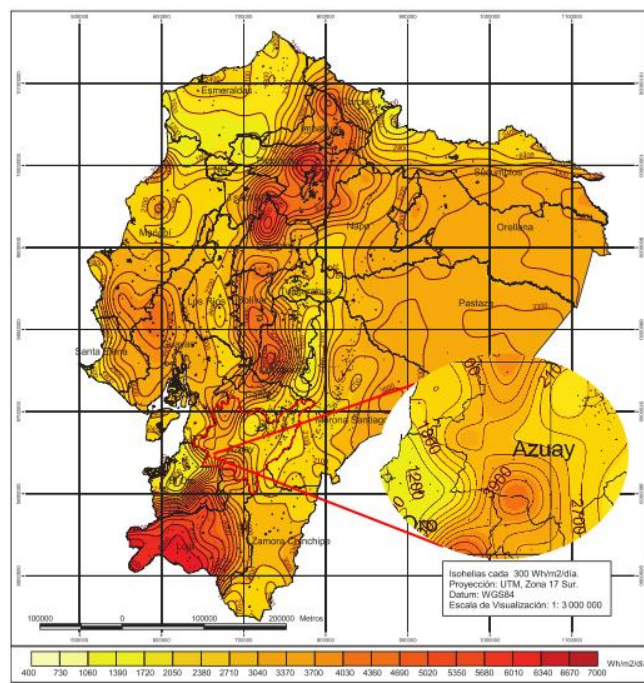


Ilustración 14 – Insolación Global Promedio para Enero del Atlas Solar del Ecuador enfocado en la región sur del Azuay

Fuente: CONELEC, 2008; Edición: Autora

Se ha definido que el sistema solar fotovoltaico aislado de la red para el auditorio de San Rafael de Sharug requiere dos días de autonomía, para lo cual se identifica los dos días con mayor

demanda. En este caso son los viernes y sábados con demandas de 9.535,57 Wh y 9.947,57 Wh respectivamente. Esto da una demanda total de 19.483,14 Wh para los dos días.

Para poder dimensionar el sistema se debe primeramente analizar las fichas técnicas de los equipos que van a formar parte de ello, tomando en cuenta el tamaño del proyecto y la disponibilidad del recurso. En este caso, ya que la demanda energética es alta al igual que la disponibilidad de la insolación solar, es necesario seleccionar las baterías con la mayor capacidad nominal y los paneles solares con el más alto pico de potencia para ahorrar espacio y disminuir la inversión. Las Tablas 13 y 14 detallan las especificaciones técnicas de los equipos.

Descripción de baterías:

Tabla 13- Descripción técnica de baterías

MODELO: PowerSonic PDC-1220000	
Tipo	Pb-ácido de descarga profunda
Tensión nominal	12 V
Capacidad nominal (20 H)	214 Ah
Profundidad de descarga	70%
Eficiencia de carga y descarga	95% (a 20°C)
Vida útil	7-8 años (a 20°C sin exceder profundidad de descarga)

Fuente de Datos: Catálogo PowerSonic (http://www.power-sonic.com/pdc_deep_cycle_series.php)

Descripción de los paneles solares:

Tabla 14 – Descripción técnica de paneles solares

MODELO: SunLink PV SL280-24P305	
Tipo	Silicio policristalino
Potencia en el punto de máxima potencia	305 W
Tensión a potencia máxima	36,6 V
Corriente a potencia máxima	8,40 A
Tensión en circuito abierto	45,1 V
Corriente de cortocircuito	9,26 A
Eficiencia del módulo	15,7 %

Fuente de Datos: Catálogo SunLinkPV (<http://www.sunlink-pv.com/Product.aspx?Cateid=28>)

5.3 Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico

5.3.1 Baterías y módulos fotovoltaicos

El dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico se realizó mediante los dos métodos detallados en la sección 3.5.2, las Tablas 15 y 16 detallan el procedimiento.

Método simplificado

Tabla 15 - Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico mediante el método simplificado

Componente	Cálculo	Fórmula	Reemplazo	Respuesta
Baterías	Energía Real Necesaria	(5)	$ERN = \frac{9741.5 * 2}{.95 * .95}$	21587.97 Wh/día
	Capacidad del sistema de acumulación	(6)	$CB_{wh} = \frac{21587.97}{0.7 * (1 - 0.05)}$	32463.11 Wh/día
	Dimensión del sistema de acumulación	(7)	$CB_{Ah} = \frac{32463.11}{12}$	2705.26 Ah
	Número de baterías	(8)	$No. Bat. = \frac{2705}{214}$	12.6
Paneles	Número de paneles	(9)	$No Paneles = \frac{1000}{305 * 4.05 * (1 - 0.05)}$	8.5

Fuente: Autora

Método del CONELEC

Tabla 16 - Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico mediante el método propuesto por el CONELEC

Componente	Cálculo	Fórmula	Reemplazo	Respuesta
Corriente pico del módulo	Carga diaria corregida	(10)	$CD = \frac{19483.14 * 1.3}{12}$	1 055,38 Ah
	Corriente pico del sistema	(11)	$C_{ps} = \frac{1055.38}{4.05}$	260,59 A
Paneles	Numero de paneles solares	(12)	$No. Paneles = \frac{260.59 * 12}{8.4 * 36}$	10
Baterías	Capacidad total de baterías	(13)	$CB = \frac{19483.14 * 2}{0.7}$	3 015,38 Ah
	Arreglo de baterías en paralelo	(14)	$B_p = \frac{3015.38}{214}$	14
	Arreglo de baterías en serie	(15)	$B_s = \frac{12}{12}$	1
	Total baterías	(16)	$B_{total} = 14 * 1$	14

Fuente: Autora

Tomando en cuenta los dos métodos de dimensionamiento, se recomienda instalar 9 módulos solares en paralelo para mantener la tensión de 36 V e incrementar la intensidad a 75,6 A. En cuanto a las baterías, se deben instalar un total de 12 baterías en una conexión mixta (3 baterías en serie en 4 filas conectadas en paralelo) para poder igualar de tensión de las baterías a la de los paneles solares (36V). La sección 5.4 detalla las conexiones de este sistema solar fotovoltaico.

Los módulos son de 305 Wp de potencia c/u, tienen una dimensión de 1956 x 992 x 45 mm, dando un área total de aproximadamente 17,5 m² emplazados en el techo del auditorio con una área total de 78,5 m². Las baterías serían emplazadas dentro de una estructura externa próxima a los módulos solares en donde se cuente con las condiciones de seguridad y ventilación adecuadas.

5.3.2 Accesorios complementarios

El regulador es un equipo diseñado para proteger la vida útil de las baterías. Este funciona abriendo el circuito (interrumpiendo la carga) entre los paneles fotovoltaicos y las baterías para proteger las baterías de ciclo profundo de sobrecarga y evitar que los consumos de corriente directa puedan descargar el banco de baterías por debajo del nivel límite (Roldán Viloria, 2010). Para este sistema se requiere un regulador (Tabla 17) que soporte una intensidad de 80 A y una tensión de 36 V.

Tabla 17 - Descripción técnica de regulador

MODELO: I-Panda I-P-MASTER-DC 12/24/36/48V – 80 A	
Tensión nominal	Reconocimiento automático de DC 12/24/36/48 V
Corriente máxima	85 A
Máxima eficiencia	99 %

Fuente: Catálogo Panda (<http://www.solarcontroller-inverter.com/products/MPPT-Master-Series-Solar-Controller.htm>)

Ya que el sistema solar fotovoltaico genera electricidad en corriente continua (CC), se requiere un inversor para convertirla en corriente alterna (CA), corriente estándar en el Ecuador. En este caso necesitamos un inversor que convierta de 36V CC a 120V CA. La Tabla 18 describe los detalles técnicos del inversor.

Tabla 18 - Descripción técnica de inversor de corriente

MODELO: VICTRON ENERGY QUATTRO 48/5000/70-100-100 12V	
Rango de tensión de entrada (CC)	37,2V – 64,4V
Rango de tensión de salida (CA)	120V \pm 2%
Rango de frecuencia de salida	60 Hz \pm 0,1%
Pico de potencia	10000 W
Eficacia máxima	95%

Fuente: Catálogo Victron Energy (http://www.renova-energia.com/productos/inversores/aj_quattro48-5000-2)

En el siguiente capítulo se realizará la evaluación económica, ambiental y social de la propuesta planteada.

5.4 Esquemas de instalación

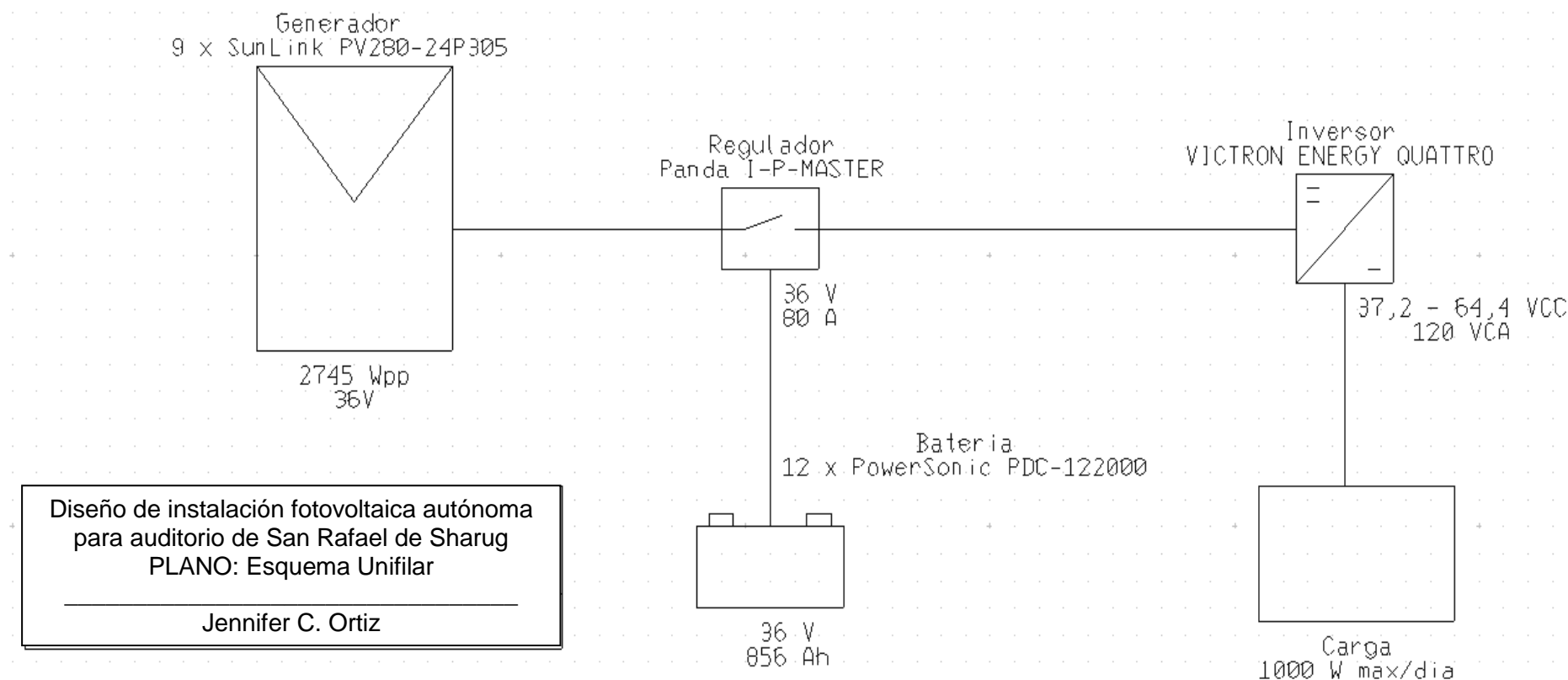


Ilustración 15 - Esquema unifilar de la instalación fotovoltaica autónoma para el auditorio de San Rafael de Sharug

Fuente: Autora

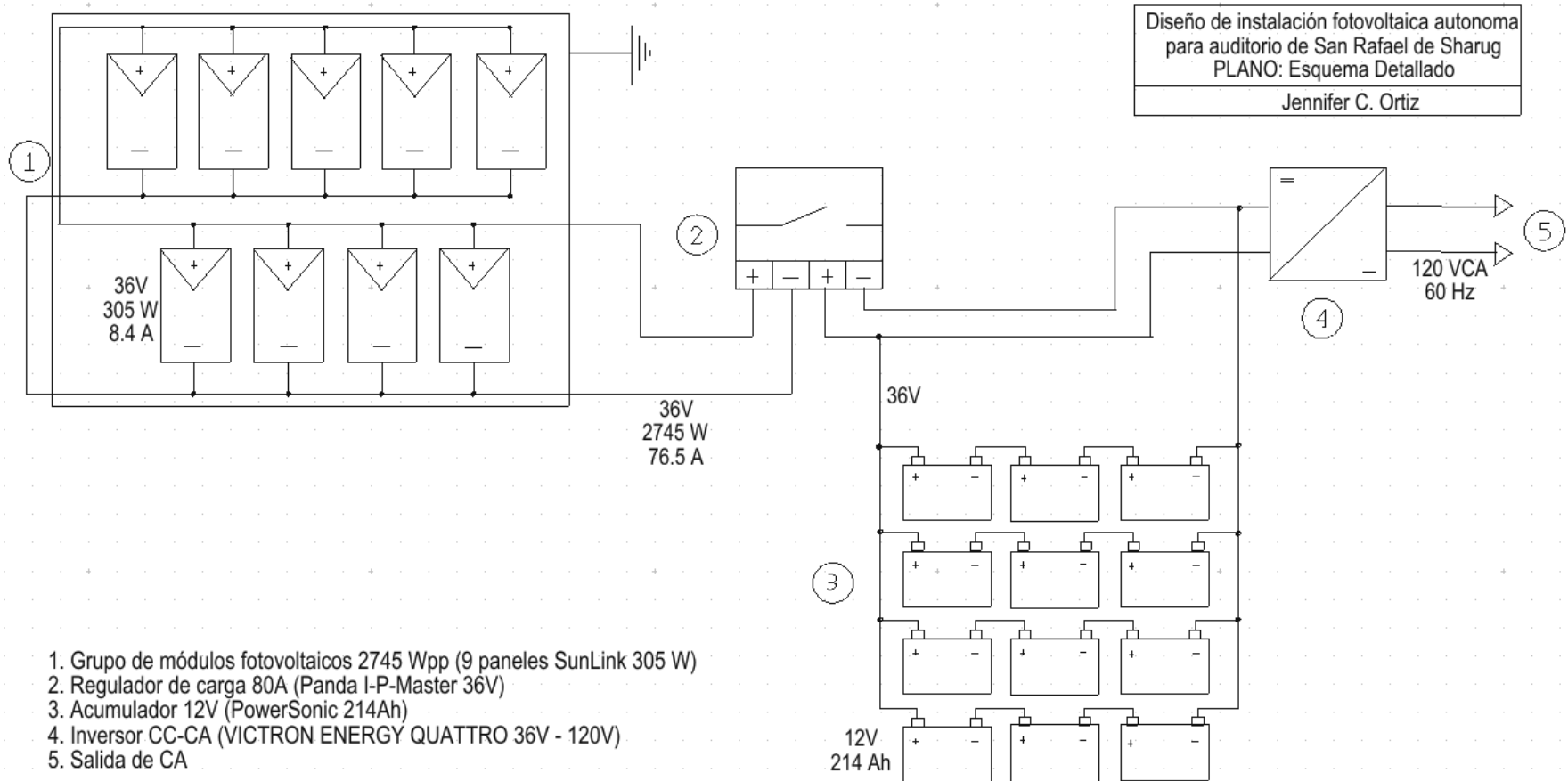


Ilustración 16 - Esquema detallado de la instalación fotovoltaica autónoma para el auditorio de San Rafael de Sharug

Fuente: Autora

6. EVALUACIÓN DE PROPUESTA

El auditorio de San Rafael de Sharug tiene la posibilidad de satisfacer su demanda energética mediante dos alternativas: la instalación de un sistema solar fotovoltaico autónomo o la conexión a la red eléctrica pública. Para poder identificar la mejor alternativa, es necesario valorar los aspectos económicos, ambientales y sociales de las dos opciones.

6.1 Evaluación económica

6.1.1 Inversión en sistema fotovoltaico

En la Tabla 19 se detalla la información referente a costos de la inversión en un sistema solar fotovoltaico aislado de la red. Los precios identificados son aproximados tomando en cuenta las especificaciones técnicas de los equipos. Es altamente probable que los precios varíen entre marcas y proveedores. Para ciertos componentes que no poseen especificaciones técnicas puntuales se estimó costos mediante los porcentajes expuestos un caso de estudio expuesta en una tesis de maestría (Santa, 2014).

Tabla 19 – Presupuesto de equipos del Sistema solar fotovoltaico

Presupuesto			
Ítem	Precio Unitario (USD)	Unidades	Precio Total (USD)
Equipo			88%
Panel Fotovoltaico 305Wpp	350	9	3.150
Batería Pb-ácido 12V 214 Ah	250	12	3.000
Inversor 36 VCC a 120 VCA 60Hz	700	1	700
Regulador 80 A	770	1	770
Cables y protección de tramos	229		229
Estructura			6%
Estructura de soporte	475		535
Mano de Obra			6%
Mano de obra calificada y no calificada			535
Inversión total			8.919

Fuente: Santa, 2014 y Autora

6.1.2 Costos de mantenimiento

Los sistemas solares fotovoltaicos autónomos son sistemas de bajo mantenimiento y no requieren mano de obra calificada para conservar su buen estado. Los módulos solares requieren una revisión periódica, usualmente anual, para verificar la limpieza y la correcta conexión del sistema. Al ser un sistema que aprovecha la insolación solar, es necesario instalarlo en el exterior de las estructuras, lo cual lo hace susceptible a la contaminación ambiental. En las áreas rurales, como es el caso de este auditorio, la contaminación consiste principalmente de las condiciones



climáticas. Dependiendo de la intensidad de estas condiciones se puede establecer un calendario de inspecciones.

Para el auditorio de San Rafael de Sharug, los módulos solares están expuestos a polvo ya que las calles no son pavimentadas, por lo que se sugiere inspecciones cada 6 meses para verificar el estado de los módulos. Las principales actividades a realizar son (Roldán Viloria, 2010):

- Inspección visual de la estructura para verificar que no haya degradación o corrosión de la estructura metálica.
- Inspección visual del estado de los módulos, limpieza si procede.
- Inspección visual de la instalación eléctrica y conexiones.

El mantenimiento del banco de baterías es especialmente importante para garantizar su buen rendimiento. Primeramente, se debe verificar un lugar adecuado para su almacenamiento. Se recomienda un local ventilado lo más próximo a los módulos solares. Las baterías deberán ser colocadas sobre un material aislante, como madera. De manera periódica se debe llevar a cabo inspecciones visuales de distintos aspectos del componente (Roldán Viloria, 2010):

- Cada 6 meses
 - Inspección visual del exterior de las baterías, limpieza si procede.
 - Inspección visual de la densidad del líquido electrolítico.
- Cada 12 meses
 - Inspección visual del estado de terminales, conexión y engrase.
- Cada 24 meses
 - Inspección visual del nivel del líquido electrolito.

En cuanto a los reguladores, el mantenimiento consiste en una revisión visual cada 12 meses del cableado y conexiones. También se debe verificar que la pantalla del equipo esté encendida e indique las caídas de tensión entre los terminales. Por último, se debe estar pendiente de las alarmas del sistema las cuales indican si la carga de las baterías es demasiado baja o si se ha producido una desconexión de las baterías para evitar sobre carga. Por último, anualmente se debe realizar una revisión general del inversor, conectadores, cableado y protecciones del sistema. Esta es una inspección general que consiste en verificar el buen estado general de todos estos componentes (Roldán Viloria, 2010).

6.1.3 Costos de formar parte de red eléctrica

El auditorio de San Rafael de Sharug está ubicado a aproximadamente 0,5 km desde el punto más cercano de alta tensión, mismo que se encuentra en el barrio La Castellana, junto a la Vía Pucará.

(Ilustración 17) Esto puede representar una ventaja si se compara con otras alternativas como la que se plantea en esta tesis.

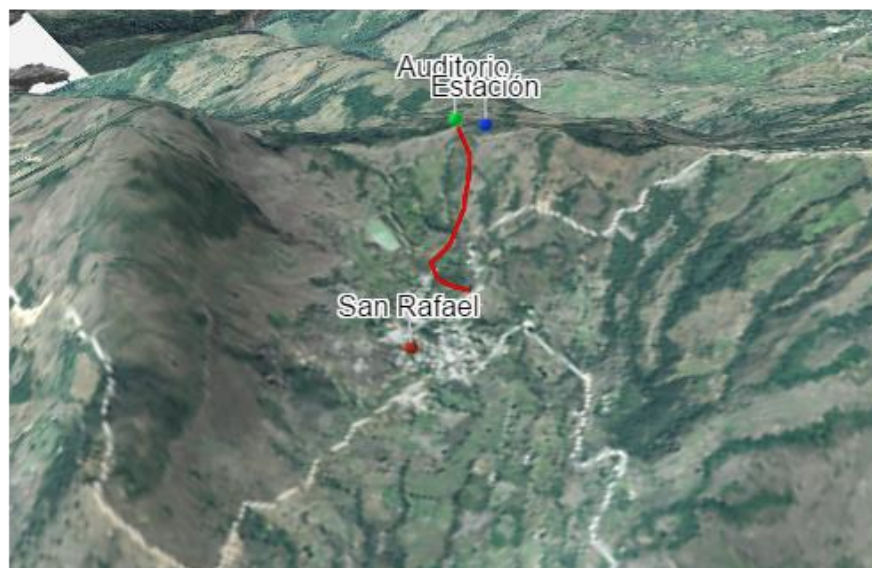


Ilustración 17 – Distancia entre Barrio La Castellana y el auditorio

Fuente: Autora

Según la empresa eléctrica CentroSur, se estima un precio promedio de 9.743,59 USD por kilómetro de línea eléctrica monofásica en alta tensión en el sector rural (Anexo 5). Este precio incluye los materiales (postes y cableado), la mano de obra de instalación y el transporte de materiales. El valor del último rubro varía significativamente ya que el costo depende de la distancia que los materiales deben recorrer. En el caso particular en el que se basó este presupuesto, la colocación de una línea monofásica en la parroquia Bellavista en el Cantón Cuenca, se identifica un bajo costo de transporte de materiales (359.06 USD) porque la parroquia está relativamente cerca de las bodegas de la empresa eléctrica CentroSur (aproximadamente 11 km). San Rafael de Sharug, por otro lado, se encuentra a aproximadamente 64 km de las oficinas principales de CNEL EP, la cual está ubicada en Machala, provincia El Oro. Si consideramos la misma relación entre costo y distancia del caso de estudio (32,64 USD/km), se estima un costo de 2.000 USD por el transporte de los materiales a San Rafael de Sharug.

Adicionalmente, se debe incluir el valor de los estudios necesarios para la ejecución de la extensión de la red, al igual que el costo de un transformador monofásico necesario para reducir la tensión de la corriente. La Tabla 20 detalla los gastos aproximados de llevar la línea de red eléctrica hacia el auditorio.

Tabla 20 - Presupuesto de extensión de la red eléctrica pública

Componente	Precio Unitario (USD)	Unidad (km)	Precio Total (USD)
Km de línea rural monofásica			
Materiales	7.167,09	0,5	3.583,55
Mano de obra	1.979,86	0,5	989,93
Transporte	32,64	64	2.088,96
IVA 12% (Mat+MO+Trans)			799,49
Componentes Adicionales			
Estudios pertinentes			475
Transformador monofásico 10 KVA			1.800
Inversión total			9.736,93

Fuente de Datos: CentroSur, 2017

6.1.4 Justificación de inversión

Los sistemas solares fotovoltaicos son sistemas de bajo mantenimiento, con una extensa vida útil y un alto potencial de recuperación de inversión. En este caso, se realizará una comparación entre el costo de extender la red eléctrica pública hacia el auditorio y el costo de instalar un sistema solar fotovoltaico autónomo. Se tomará en cuenta un periodo de 20 años, ya que este es el periodo de vida útil de los sistemas solares.

En la Tabla 21 se detalla los costos totales para la mantención de un sistema solar fotovoltaico para los 20 años de vida útil.

Tabla 21 – Gasto total de un sistema solar fotovoltaico en un periodo de 20 años

Componente	Precio (USD)
Inversión inicial	8.919
Reemplazo de baterías	6.000
Mantenimiento	134
Inversión total	15.053

Fuente: Autora

Ya que la vida útil de las baterías es de 7 a 8 años, siempre y cuando se mantenga un correcto uso de las mismas, se pronostica 2 cambios de baterías durante los 20 años de funcionamiento del sistema. Adicionalmente se consideró un costo bajo para el mantenimiento del sistema (25% de la inversión inicial de la estructura) porque únicamente se debe llevar a cabo acciones simples como limpieza de los módulos y del banco de baterías. El presupuesto indicado para el mantenimiento es preventivo en caso que sea necesario llevar a cabo algún tipo de reforzamiento de la estructura de soporte.

Por otro lado, el sistema de la red eléctrica pública es un servicio que implica un pago mensual por el consumo eléctrico de las instalaciones. En el caso de San Rafael de Sharug, se estimó el precio

del kWh a ser 0,10 USD según la facturación de la empresa eléctrica CNEL EP del mes de marzo del 2016 para el consumo de la casa comunal de la parroquia. Según la estimación de la demanda energética del auditorio detallada en la sección 3.2.4, mensualmente se consumirá aproximadamente 2.171 kWh, lo cual implica que en los 20 años se consumirá alrededor de 43.414 kWh.

En la Tabla 22 se detalla la inversión total de formar parte de la red eléctrica pública.

Tabla 22 – Gasto total de formar parte de la red eléctrica pública para un lapso de 20 años

Componente	Precio (USD)
Inversión inicial	9.736,93
Pago de consumo eléctrico para 20 años	4.341,40
Inversión total	14.078,33

Fuente de Datos: Centro Sur y CNEL EP

Al evaluar los gastos netos totales al final de los 20 años, es evidente que es más económicamente viable formar parte del Sistema Nacional Interconectado, ya que se ahorraría aproximadamente 1.000 USD en comparación con instalar un sistema solar fotovoltaico autónomo. Pero, se requiere un análisis económico más profundo que contemple indicadores como la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN) que permitan valorar los riesgos económicos que este proyecto contemplaría.

El VAN es un método de evaluación de inversiones que consiste en valorar la diferencia entre los gastos y ganancias, es decir los flujos de caja, generados por una inversión. El VAN expresa una medida de rentabilidad en términos monetarios, si el $VAN > 0$, el proyecto es económicamente viable (Santa, 2014). La fórmula para su cálculo es:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad (17)$$

En donde:

V_t – Vida útil del proyecto

k - tasa de interés (definida por la economía del país en la actualidad)

I_0 – Inversión inicial

El TIR es una tasa de rentabilidad, expresada en un porcentaje, que cuantifica el beneficio económico de una inversión durante cierto periodo de tiempo. Este indicador es calculado en relación al VAN en donde el TIR, en un momento inicial, iguala al VAN, es decir $VAN = 0$ (Santa, 2014). Esto está expresado en la siguiente fórmula:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} = 0 \quad (18)$$

Estos cálculos se pueden realizar más fácilmente con herramientas contabilizadoras como Excel (Tabla 23).

Para realizar la evaluación financiera de este proyecto se debe considerar la inversión inicial (8.919 USD) como un pago durante el primer año, considerar el ahorro por no extender el servicio público de energía (9.737,07 USD) como un cobro, ya que se está ahorrando ese monto de dinero; al igual que el ahorro por el consumo de electricidad. Adicionalmente, es necesario tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Precio actual de energía: 0,10 USD/kWh
- Energía consumida anualmente: 2.170,67 kWh
- Tasa de interés (pasivo): 4,81% - Abril, 2017 (Banco Central del Ecuador, 2017)
- Reinversión de baterías: 3.000 USD, cada 7 años
- Años de vida del proyecto: 20 (vida útil de los paneles)

Tabla 23– Cálculo de VAN y TIR para el auditorio de San Rafael de Sharug

20 años					
Interés 4.8 (0.0481)					
Inversión Inicial -8919 USD					
Año	Cobros (USD)	Pagos (USD)	Flujo de Caja (USD)	VAN	TIR
0			(8.919,00)		
1	9.954,14		9.954,00		12%
2	217,07		217,07		14%
3	217,07		217,07		16%
4	217,07		217,07		17%
5	217,07		217,07		18%
6	217,07		217,07		19%
7	217,07	(3000)	(2.782,93)		(-%)
8	217,07		217,07		(-%)
9	217,07		217,07		(-%)
10	217,07		217,07		(-%)
11	217,07		217,07		(-%)
12	217,07		217,07		(-%)
13	217,07		217,07		(-%)
14	217,07	(3000)	(2.782,93)		(-%)
15	217,07		217,07		(-%)
16	217,07		217,07		(-%)
17	217,07		217,07		(-%)

18	217,07	217,07	(-%)
19	217,07	217,07	(-%)
20	217,07	217,07	(-%)
(\$593,02)			-15%

Fuente: Autora

A partir de la valoración del VAN se puede verificar que, durante el periodo de 20 años de vida útil de este sistema, se generará una pérdida de 593 USD. El TIR por otro lado, registra ganancias del 19% de la inversión durante los primeros 6 años, pero al final de los 20 años se reduce a -15%, lo cual indica que existirán pérdidas económicas, clasificando al proyecto como *no factible* económicamente.

Extender la red hacia el auditorio resulta ser más económico debido a que este se encuentra cercano al punto de alta tensión. Pero, al extender la red por distancias más largas se incrementará la inversión y el sistema solar fotovoltaico resultará ser económicamente factible. La Tabla 24 detalla un análisis de sensibilidad de este fenómeno utilizando los criterios expuestos en la Tabla 20. Al incrementar la distancia por 0,10 km ya se recupera la inversión y se registra ganancias.

Tabla 24 – Análisis de sensibilidad para extensión de red

Distancia (km)	Inversión Inicial de Extensión de Red (USD)	VAN (20 años)	TIR (20 años)
,50	9.954,14	(592,89)	-15%
,60	10.978,46	384,42	21 %
,75	12.515,14	1.850,58	42%
1	15.076,29	4.294,19	71%

Fuente: Autora

6.2 Evaluación de impacto ambiental

Para determinar la factibilidad de un proyecto es igualmente indispensable realizar una evaluación ambiental. En nuestro ámbito existe una serie de regulaciones a nivel nacional que dictan el procedimiento.

La Ley de Gestión Ambiental actual indica en el Art.- 19 y el Art.- 20 que toda obra o proyecto que pueda causar impactos ambientales deben ser calificados previamente a su ejecución; y, en caso que esta actividad suponga riesgo ambiental se deberá contar con la respectiva licencia otorgada por el Ministerio del ramo. Para poder acceder a estas licencias, dependiendo del tipo de



proyectos, se deberá contar con ciertos estudios tales como línea base, evaluaciones de impacto ambiental, evaluación de riesgos, planes de manejo, planes de contingencia y mitigación y planes de abandono (Art.-21), siendo la autoridad ambiental quienes evalúan el cumplimiento de los planes de manejo. En ciertos casos, cuando el proyecto es de gran extensión o impacto se deberá llevar a cabo un llamado de participación social, en donde toda persona natural o jurídica puede acudir a audiencias públicas y protestar cualquier instancia que les parezca desfavorable (Art.-28) (Congreso Nacional del Ecuador, 2004).

Para determinar la Actividad Ambiental a la que pertenece un proyecto, se debe ingresar al Sistema Único de Información Ambiental (SUIA) dentro de la página web del Ministerio del Ambiente (MAE). De acuerdo a la documentación necesaria se puede identificar la categoría según el Catálogo de Caracterización Ambiental Nacional (CCAN). En la actualidad existen tres categorías, en donde la primera es la menos perjudicial al ambiente y la tercera tiene el mayor impacto. Mientras más grande el impacto que genera, más estudios y planes requiere el proyecto (Ministerio del Ambiente, 2013).

La dotación de electricidad al auditorio de San Rafael de Sharug se identificó como una actividad perteneciente a la categoría de generación de ENERGÍA FOTOVOLTAICA/SOLAR TÉRMICA que opera entre 0 a 0,10 MW. Estas características corresponden a la Categoría I del CCAN, la cual señala que el proyecto tiene impactos ambientales no significativos. Actividades en esta categoría no requieren un estudio de impacto ambiental en sí, sino únicamente un Registro Ambiental. Los Registros Ambientales son trámites que se realizan en línea en la página web del MAE a través del sistema SUIA. No obstante, para actividades en la Categoría I se sugiere un Plan de Buenas Prácticas Ambientales cuando el área de intervención cae dentro de Áreas Protegidas o Bosques Protector (Ministerio del Ambiente, 2013).

Aun cuando el auditorio de San Rafael de Sharug no se encuentra en un Área Protegida o Bosque Protector, se considera beneficioso detallar un procedimiento de manejo para las baterías que se utilizan en el sistema solar fotovoltaico ya que estas contienen metales pesados y ácidos que son clasificados como desechos peligrosos. La disposición inadecuada de estas baterías puede resultar en la contaminación de suelos y cuerpos de agua, tanto superficiales como subterráneos, al instante que los químicos abandonen la carcasa de la batería (Díaz Arias & Castro Díaz, 2004). Según el MAE, estos desechos sólidos necesitan un manejo especial para evitar la contaminación ambiental. En la siguiente sección se describe específicamente la actividad de manejo propuesta.



6.2.1 Procedimiento de manejo de baterías

El aspecto de mayor riesgo ambiental del sistema solar fotovoltaico son las baterías y es necesario identificar un procedimiento específico para la disposición final de ellas. El MAE ha establecido instructivos para la inscripción de empresas dedicadas al tratamiento de desechos peligrosos identificados en el Registro Oficial N° 856 publicado en el 2012, mismo que identifica al plomo y diversos ácidos como sustancias peligrosas de toxicidad crónica (Ministerio del Ambiente, 2012). Para la correcta disposición de equipos que posean estos químicos el MAE sugiere entregar las baterías a gestores habilitados y certificados por la autoridad ambiental competente para su transporte y tratamiento/reciclado (FICONDI CIA. LTDA., 2010).

Para el caso de estudio, el procedimiento de gestión de las baterías usadas o defectuosas sería:

1. Identificar una empresa certificada por la autoridad competente en el tratamiento de baterías de Pb-ácido.

Según el catálogo de *Prestadores de servicio (gestores) para el manejo de materiales peligrosos (sustancias químicas peligrosas y/o desechos peligrosos)* del MAE actualizado en diciembre del 2015 (Ministerio del Ambiente, 2015) se ha identificado dos empresas con la capacidad de clasificación, almacenamiento, reciclaje y tratamiento de desechos para las baterías de Pb-ácido, GPOWER GROUP S.A. y PLUSAMBIENTE S.A..

2. Firmar un convenio de recolección en el periodo establecido, en este caso cada 7 años.

6.3 Evaluación Social

En este proceso de construir un complejo turístico autosustentable, es indispensable incorporar una evaluación social, ya que el objetivo de este proyecto está íntimamente ligado al desarrollo sustentable y de igual manera es una parte integral al momento de evaluar la factibilidad de un proyecto.

Como ya fue recalcado anteriormente, la Parroquia San Rafael de Sharug es un área vulnerable en términos económicos y migratorios. Siendo esta la razón por la cual sus líderes han considerado la importancia de introducir proyectos innovadores que puedan ayudar a combatir las condiciones negativas que se presentan en esta comunidad. Las fuentes energéticas tradicionales indudablemente son recursos confiables y, debido a las políticas económicas del Ecuador, sumamente baratas. Pero, estas condiciones también traen con ellas ciertas predisposiciones sociales, tales como un aislamiento de conocimiento y apreciación por el origen de la energía y de la inversión, tanto económica como ambiental, que se hace para poder gozar de ella.



Por otro lado, las energías renovables son una herramienta de desarrollo sustentable. En términos económicos, lugares muy alejados de la red eléctrica pública son fácilmente satisfechos con energía por un costo relativamente bajo. En términos ambientales, las energías renovables precisamente se enfocan en dotar de energía generando los mínimos impactos posibles, evitando la destrucción de hábitats y la contaminación. En términos sociales, fuentes de energía renovable siembran una noción de comunidad y de pertenencia. Esto es logrado porque las personas llegan a relacionarse más íntimamente con las fuentes de energía, y desarrollan un pensamiento crítico sobre su disponibilidad y consecuentemente modifican sus hábitos de consumo. El mantenimiento del sistema impulsará la comunicación entre los residentes, y se inculcará un cambio de conducta en términos de consumo energético.

Estas características son especialmente importantes en el caso de San Rafael de Sharug porque el auditorio formará parte de un complejo turístico que se enfocará en transmitir a sus visitantes la experiencia desarrollar un proyecto innovador. Los moradores tendrán la oportunidad de ser embajadores de la concientización ambiental y enfatizar la importancia de la eficiencia energética. En este aspecto, la alternativa de instalar un sistema solar fotovoltaico es sumamente alta.



7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este estudio de pre-factibilidad para la dotación de electricidad al auditorio de la parroquia San Rafael de Sharug demostró que el recurso eólico no tiene las características necesarias para poder aprovecharlo a pesar de la especulación señalada en los mapas eólicos y por los testimonios de los residentes. La velocidad promedio del viento en esta área es muy baja, menor a 1,5 m/s, y existe un bajo índice de corrida del viento. Es decir, generalmente dominan bajas velocidades promedio, pero se registran picos ocasionales de velocidades altas, lo cual indica que la corrida del viento es baja e irregular (Anexo 6). Esta condición puede justificar la noción de los moradores de la parroquia que verificaban la presencia de fuertes vientos, ya que efectivamente se evidencia picos de velocidad, pero estos son tan esporádicos que no pueden ser aprovechados efectivamente.

El viento es un recurso abundante mundialmente, pero sumamente específico para cada sector. A través de este estudio se pudo comprobar que es indispensable evaluar el recurso eólico mediante un monitoreo in situ y que las tendencias y velocidades del viento no se pueden modelar de manera efectiva con datos de otras estaciones cercanas.

Las condiciones del viento que se han detectado a través de este estudio no son las adecuadas para ser aprovechadas mediante las tecnologías convencionales, aerogeneradores de eje vertical y horizontal de diversos tamaños. Estos aerogeneradores requieren una velocidad de viento superior a 3 m/s para poder arrancar, condición que el viento en San Rafael de Sharug no alcanza cumplir. Pero, la tecnología está avanzando constantemente y existe la posibilidad de aprovechar el recurso mediante otro tipo de aerogeneradores no convencionales. La desventaja es que estos equipos aún se encuentran en etapa de investigación y no se puede realizar un dimensionamiento eficaz sin y haber evaluado su rendimiento en otros proyectos con condiciones similares.

No obstante, con la finalidad de dotar el auditorio de energía mediante tecnologías alternativas amigables con el ambiente y alcanzar el objetivo principal del complejo turístico autosustentable, se propuso satisfacer la demanda energética mediante un sistema solar fotovoltaico autónomo. Gracias a la ubicación geográfica de la parroquia San Rafael de Sharug, la energía solar resultó ser una alternativa altamente confiable y abundante. Consecuentemente, se diseñó una propuesta preliminar de un sistema fotovoltaico autónomo.

La inversión de un sistema solar fotovoltaico para el auditorio resultó no ser económicamente factible ya que los indicadores VAN y TIR arrojaron resultados negativos. El VAN registró una



pérdida de 593 USD al finalizar el periodo de 20 años de vida útil del proyecto, y el TIR resultó ser -15% para el mismo periodo. Se atribuye estas pérdidas al gasto elevado que se da al reemplazar las baterías periódicamente en comparación a las ganancias que se tiene por el ahorro del pago del servicio eléctrico anual. Pero, es importante considerar que el precio por la electricidad tiene una alta posibilidad de incrementar en los próximos años debido a factores económicos como la inflación y la reducción de subsidios a nivel nacional. De igual manera, se espera que las energías renovables tengan más aceptación en el futuro, lo cual ampliara el mercado actual, reduciendo el precio de los equipos.

Adicionalmente, a través del análisis de sensibilidad, se verificó la noción que mientras más alejado esté el punto de alta tensión, más económicamente factible se vuelve el sistema solar fotovoltaico. En este caso, tan solo incrementando 0,1 km de distancia ya se genera ganancias (384 USD). Por lo tanto, si bien el sistema solar fotovoltaico propuesto para el auditorio no es factible en términos estrictamente económicos, su uso para comunidades más alejadas es altamente rentable y beneficioso.

Por otro lado, el análisis económico no debe enfocarse exclusivamente en ganancias monetarias, ya que el ambiente tiene un valor intrínseco que puede ser valorado también. La destrucción de vegetación y hábitats al escavar cimientos para el emplazamiento de los postes y el traslado de maquinaria pesada puede generar una externalidad alta. Se puede argumentar que esta afección al ambiente es mucho más costosa que cualquier costo de inversión en un sistema solar, ya que ganamos mucho más con un ambiente sano que ahorrándonos dinero.



8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es indispensable recalcar los objetivos del complejo turístico del cual forma parte este auditorio: *“construir un complejo turístico autosustentable que genere ingresos económicos a los habitantes de la parroquia”*. Esto es la motivación para encontrar una alternativa que satisfaga la demanda energética de la edificación sin perjudicar el entorno natural.

Ya que un sistema solar fotovoltaico restringe “la libertad” de consumo de energía desde la denominada barra infinita (disponibilidad permanente), esto puede representar una oportunidad para cambiar la mentalidad de las personas e impulsarlas a reconocer que la energía no es un recurso que se debe derrochar porque tiene un bajo costo. Inculcando pensamientos de concientización ayudará a cambiar los hábitos actuales y se tomará más aprecio a la facilidad y comodidad que tenemos gracias a la red eléctrica pública, simultáneamente definiendo que el recurso es precioso y debemos reconsiderar nuestras prioridades y cambiar nuestros hábitos de consumo. De igual manera, se dará a conocer los beneficios de las energías alternativas en cuanto a la conservación del paisaje, un punto especialmente importante para este proyecto. En general las energías alternativas fomentan el sentido de comunidad porque requieren unidad entre los habitantes para llevar a cabo el mantenimiento del sistema y cuidar las reservas energéticas.

Aun siendo la energía solar fotovoltaica una buena alternativa energética, ninguna actividad humana es libre de impactos ambientales. Por lo tanto, si no se lleva a cabo una disposición adecuada de las baterías se contrarrestará todos los beneficios ambientales que obtenemos con esta tecnología. Esta práctica también depende de la capacitación que se dé a los ciudadanos en donde reconozcan los daños de una disposición no debida de estos equipos.

En el futuro, se recomienda evaluar otras técnicas de aprovechamiento de la energía solar para satisfacer la demanda energética de las futuras construcciones del complejo. Las técnicas de arquitectura solar son una excelente manera de reducir la cantidad de energía lumínica que utiliza un espacio, al igual que regular el clima interior del mismo. De igual manera, se podría analizar la posibilidad de dotar al auditorio de colectores solares para calentamiento de agua. Al verificar que la insolación solar en la región sur de la provincia del Azuay es abundante, se ha determinado que los sistemas solares fotovoltaicos son una alternativa factible para la electrificación de las zonas del cantón que aún no están conectados a la red eléctrica pública. Esto llegaría a satisfacer la meta del Cantón Pucará de dotar de electricidad a todo el cantón, sin las afecciones ambientales que generaría la extensión de la red eléctrica pública.



Finalmente, para incrementar la eficiencia del sistema se puede trabajar con equipos de corriente continua, pero en nuestro entorno es muy difícil conseguir aparatos que funcionen con este tipo de corriente, por tanto no se consideró esa opción para este estudio. Pero, mientras se vea incrementando el campo de energías alternativas, la disponibilidad de estos equipos aumentará, dando así nuevas posibilidades para la implementación de estos sistemas.



REFERENCIAS

- Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (2017). Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2016.
- Albarracin, J., & Bautista, C. (2016). *Propuesta para la creación de un complejo turístico comunitario, sostenible y autosustentable en la parroquia de San Rafael de Sharug - cantón Pucará*. Universidad de Cuenca.
- Alonso Abella, M. (2011). *Sistemas Fotovoltaicos*. Centro de Investigación Energéticas, Medioambientales y Tecnologías. Retrieved from http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45340/componente45338.pdf
- Asamblea Nacional Republica del Ecuador. Constitución de la República del Ecuador (2008). Ecuador. Retrieved from http://www.asambleanacional.gov.ec/documentos/constitucion_de_bolsillo.pdf
- Asamblea Nacional Republica del Ecuador. Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (2015). Ecuador.
- Ayodele, T. R., & Ogunjuyigbe, A. S. O. (2013). Wind energy resource, wind energy conversion system modelling and integration: a survey. *International Journal of Sustainable Energy*, 6451(June), 1–15. <http://doi.org/10.1080/14786451.2013.855778>
- Banco Central del Ecuador. (2017). Indicadores Económicos. Retrieved January 1, 2017, from <https://www.bce.fin.ec/index.php/component/k2/item/788>
- Barragan, E. A., Arias, P. D., & Terrados, J. (2016). Fomento del metabolismo energético circular mediante generación eléctrica proveniente de rellenos sanitarios: Estudio de caso , Cuenca , Ecuador Promoting Circular Energy Metabolisms through Electricity Generation from Landfills : Case study. *Ingenius*, 2(12), 36–42. <http://doi.org/https://doi.org/10.17163/ings.n16.2016.05>
- British Petroleum. (2015). Primary energy consumption - leading countries 2014. *British Petroleum*, (June), 48. <http://doi.org/bp.com/statisticalreview>
- Canseco, M. (2010). Energías Renovables En América Latina. *Fundacion Ciudadania Y Valores*, 12. Retrieved from http://www.funciva.org/uploads/ficheros_documentos/1279184521_energias_renovables_en_america_latina.pdf
- Congreso Nacional del Ecuador. (2004). Ley de gestion ambiental, codificacion, 1–14.
- Consejo Nacional de Electricidad. (2008). *Atlas Solar del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica*.
- Consejo Nacional de Electricidad. (2013a). Aspectos de Sustentabilidad y Sostenibilidad Social y Ambiental. *Plan Maestro de Electrificación 2013-2022*, 4, 380. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Consejo Nacional de Electricidad. (2013b). Estudio y gestión de la demanda eléctrica. *Plan Maestro de Electrificación 2013-2022*, 2, 206. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>



- Consejo Nacional de Electricidad. (2013c). Resumen ejecutivo. *Plan Maestro de Electrificación 2013-2022*, 1, 116. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Díaz Arias, M. L., & Castro Díaz, J. (2004). La contaminación por pilas y baterías en México: documento en proceso de revisión y actualización. *Gaceta Ecológica*, 53–74.
- Doménech, J. L. (2007). Huella ecológica y desarrollo sostenible. In AENOR (Ed.), *Asociación Española de Normalización y Certificación* (1st ed., p. 377). Madrid: Dayton, S.A.
- FICONDI CIA. LTDA. (2010). *Estudio de Impacto Ambiental de la Planta de Agua Potable Culebrillas*. Cuenca. Retrieved from <http://www.anla.gov.co/contenido/contenido.aspx?conID=8052&catID=1373>
- Gobierno Autónomo Descentralizado de Pucará. (2014). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial, Cantón Pucará*. Pucará. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Gonzales, P. (2008). Running Out. In *Running Out* (1st ed., pp. 61–78). New York: Algora Publishing. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Hernandez Rosales, A. (Instituto P. N.-M., & Ortega Vega, O. R. I. P. N. M. (2010). *Análisis estadístico del viento como recurso energético*. Instituto Politécnico Nacional.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2015). *Compendio Estadístico 2015*. Quito.
- International Energy Agency. (2016). *Key world energy statistics. Secure Sustainable Together*. http://doi.org/10.1787/key_energ_stat-2016-en
- Marzolf, N. C. (2007). Emprendimiento de la energía geotérmica en Colombia. *Banco Interamericano de Desarrollo*, 1, 25–42. Retrieved from [https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6558/Energia Geotermica Colombia 7-1-14finalweb.pdf?sequence=1](https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6558/Energia_Geotermica_Colombia_7-1-14finalweb.pdf?sequence=1)
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2013). *Atlas Eólico del Ecuador con fines de generación eléctrica*. Quito. Retrieved from <http://www.energia.gob.ec/biblioteca/>
- Ministerio del Ambiente. Primer Suplemento al Registro Oficial N° 856 (2012). Ecuador.
- Ministerio del Ambiente. (2013). *Categorización ambiental nacional*. Quito.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Prestadores de servicio (gestores) para el manejo de materiales peligrosos (sustancias químicas peligrosas y/o desechos peligrosos)*. Quito.
- Naciones Unidas. (1998). *Protocolo de kyoto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. Protocolo de Kyoto* (Vol. 61702). Retrieved from <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- Ngo, C., & Natowitz, J. (2016). We Need Energy. In *Our Energy Future: Resources, Alternatives and the Environment* (2nd ed., pp. 1–33). Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Pauta, Adrian. Entrevista personal. 15 de diciembre de 2016.



- Pelaez, M. R., García, M., Barriga, A., Herrero, J., Andrés, M., Mayer, F., & García, J. (2015). Estado del uso de la biomasa para la producción de bioenergía, biocombustibles y bioproductos en Ecuador. In M. R. Pelaez & J. L. Espinoza (Eds.), *Energías Renovables en el Ecuador. Situación actual, tendencias y perspectivas* (pp. 29–115). Cuenca: Graficas Hernandez.
- Roldán Vilorio, J. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. (M. J. Lopez Raso, Ed.) (1st ed.). Madrid: Paraninfo.
- Santa, S. (2014). *Diseño de una instalación fotovoltaica autónoma para la finca mis delirio en Pereira – COLOMBIA*. Universidad Pública de Navarra.
- Singh, J., & Gu, S. (2010). Biomass conversion to energy in India-A critique. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(5), 1367–1378. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2010.01.013>
- Tovar, M., & Yamá, L. (2009). *Análisis de prefactibilidad para la generación de energía eléctrica mediante energía undimotriz en Tumaco (Nariño)*. Unniversidad de La Salle. Retrieved from <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/17001/T42.09T649a.pdf?sequence=2%5Cnhttp://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/17001/T42.09T649a.pdf?sequence=2>
- Tromly, K. (2001). Renewable Energy: An Overview. *Energy Efficiency and Renewable Energy Clearinghouse*, 1–8. <http://doi.org/102001-1102>
- Twidell, J., & Weir, T. (2006). *Renewable Energy Resources. Management* (Vol. 532). <http://doi.org/10.4324/9780203478721>
- United Nations Development Programme. (2016). *Delivering Sustainable Energy in a Changing Climate - Strategy Note on Sustainable Energy*.
- Vaca, S., & Jara, J. (2015). Energía Eólica en Ecuador. In M. R. Pelaez & J. L. Espinoza (Eds.), *Energías Renovables en el Ecuador. Situación actual, tendencias y perspectivas* (1st ed., pp. 259–329). Cuenca: Graficas Hernandez.
- Vásquez, F., Urdiales, L., Espinoza, J. L., & García, M. (2015). Energía Solar en el Ecuador. In M. R. Pelaez & J. L. Espinoza (Eds.), *Energías Renovables en el Ecuador. Situación actual, tendencias y perspectivas* (1st ed., pp. 330–383). Cuenca: Graficas Hernandez.
- Yanes, Luis. Entrevista personal. 20 de octubre de 2016.

ANEXOS

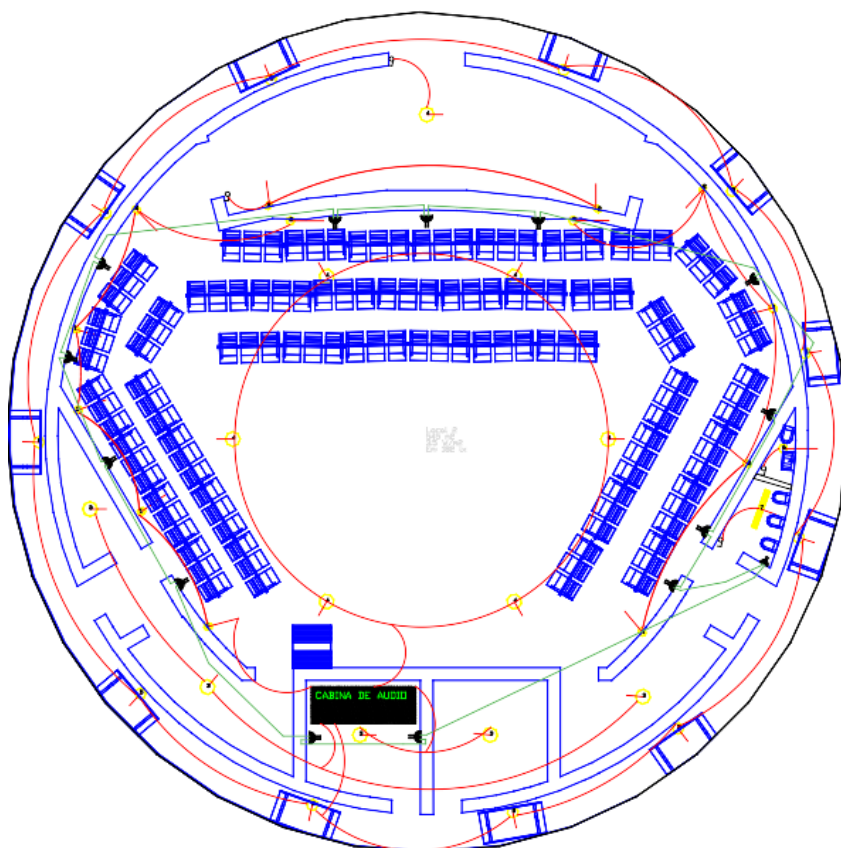
Anexo 1. Diseño eléctrico preliminar



















Proyecto 1

- 1 ENDO ERS4451W Spot Light (1x3000TYPE)
- 2 ENDO ERS4451W Spot Light (1xDefinido por el usuario)
- 3 ENDO GERG5377S-T High-Bay Base Light (1xDefinido por el usuario)
- 4 ENDO GERG5377S-T High-Bay Base Light (1xLED module)
- 5 Philips FWG201 2xPL-C/4P18W HF (2xPL-C/4P18W/840)
- 6 Philips RS396B 1xLED20-40-/840 (1xLED20-40-/840)
- 7 Philips TCS260 1xTL5-28W HFP M2 (1xTL5-28W/840)

Isolíneas

- 300.0 lx
- 400.0 lx
- 500.0 lx
- 600.0 lx
- 700.0 lx

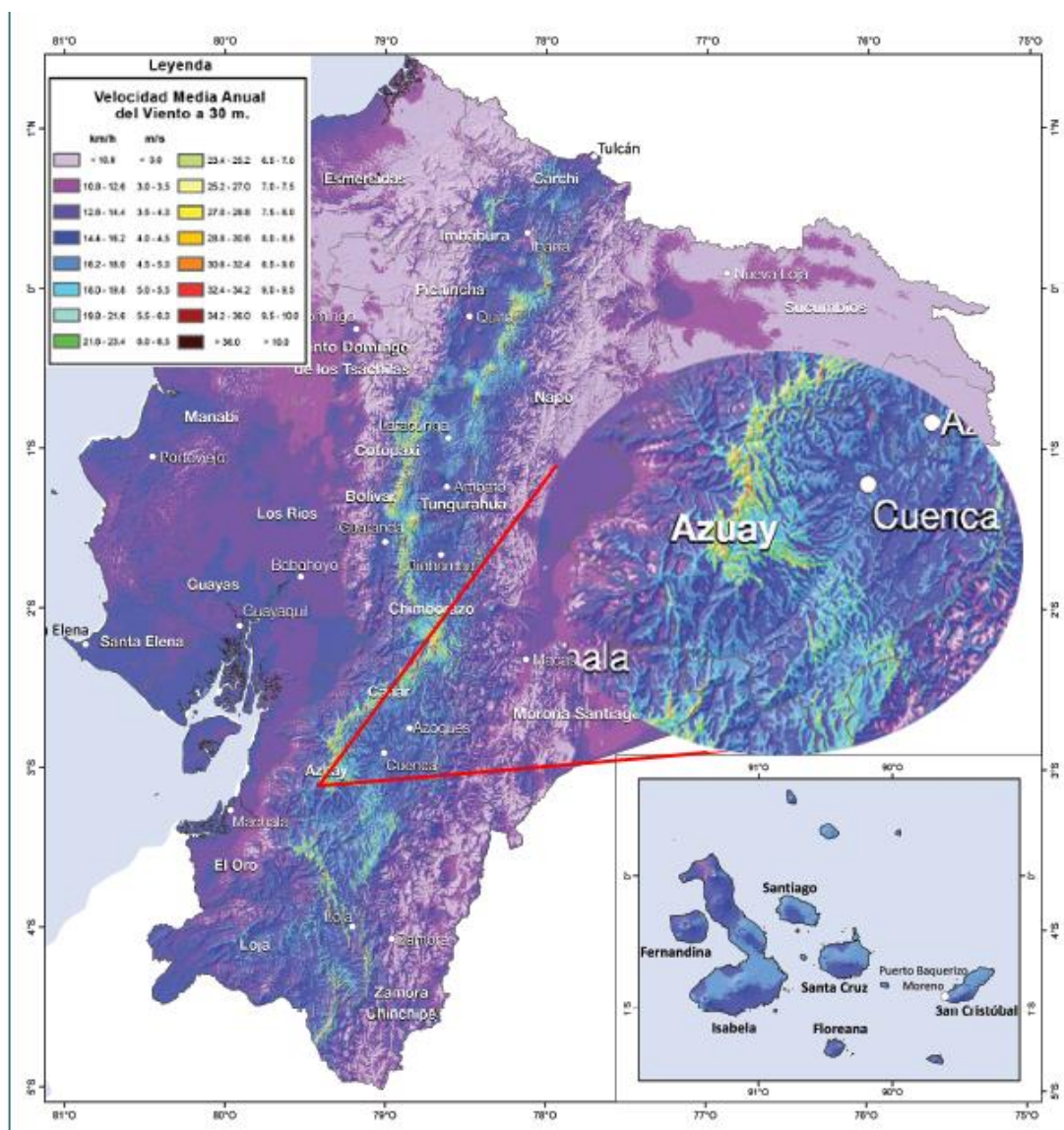


S I M B O L O G I A	
	TABLERO DE DISTRIBUCION DE ALUMBRADO (TDA)
	ENCHUFE SIMPLE
	ENCHUFE DOBLE
	ENCHUFE DOBLE 10/16 AMPERES
	INDICA CIRCUITO NORMAL
	POSTE DE ALUMBRADO PUBLICO
	INTERRUPTOR 8/12
	INTERRUPTOR 8/15
	INTERRUPTOR 8/24
	INTERRUPTOR 8/12 + 8/24
	CANDO (TUBO FLUORESCENTE)
	PUNTO (CENTRO)
	APLIQUE
	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO
	PROTECTOR DIFERENCIAL 2x25A - 30mA
	CAJA DERIVACION
	MEDIDOR
	EMPALME



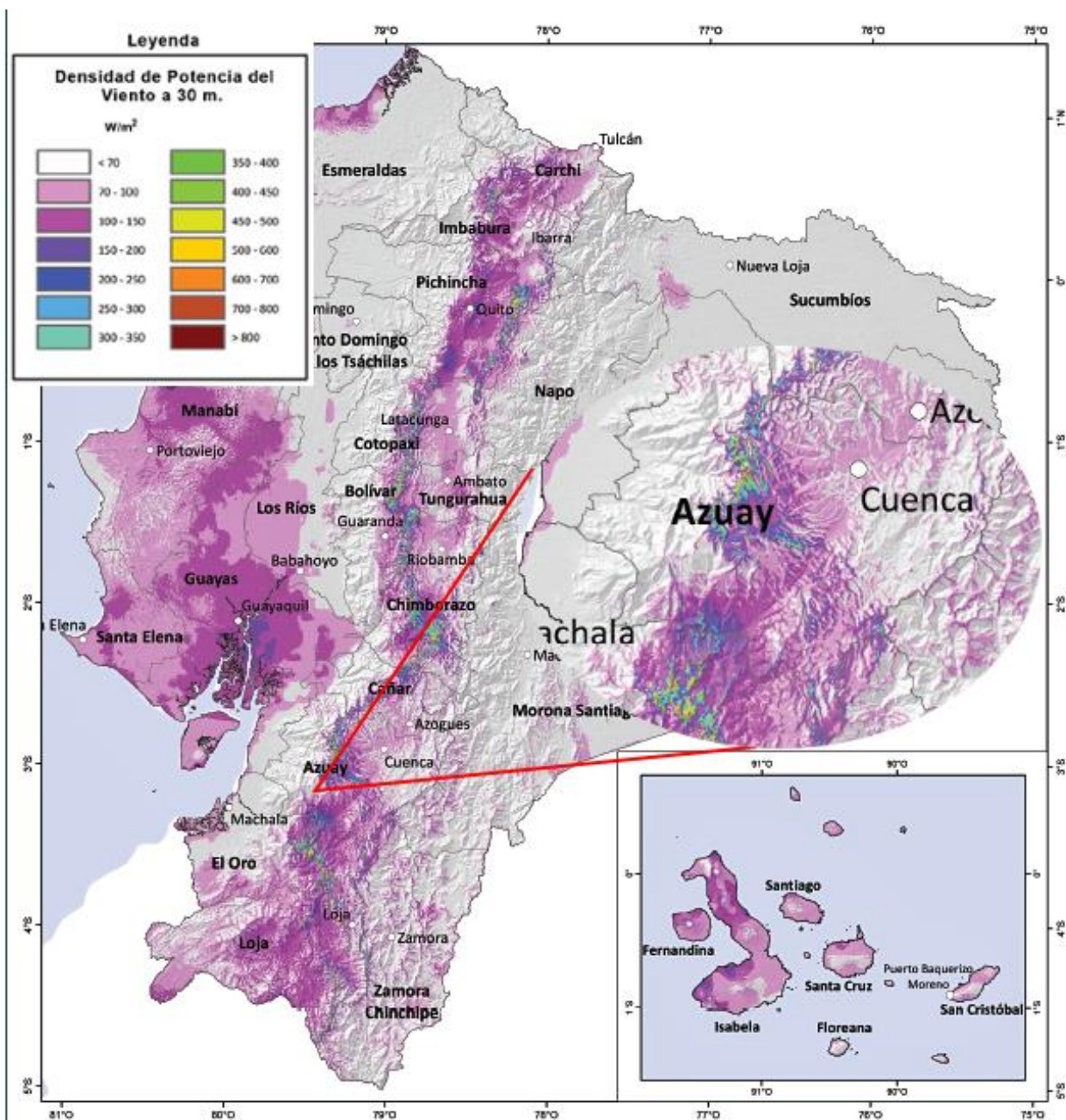
Fuente: Pauta, 2016,a

Velocidad Media Anual del Viento a 30 m de Altura sobre el Suelo



Fuente de Datos: MEER, 2013; Edición: Autora

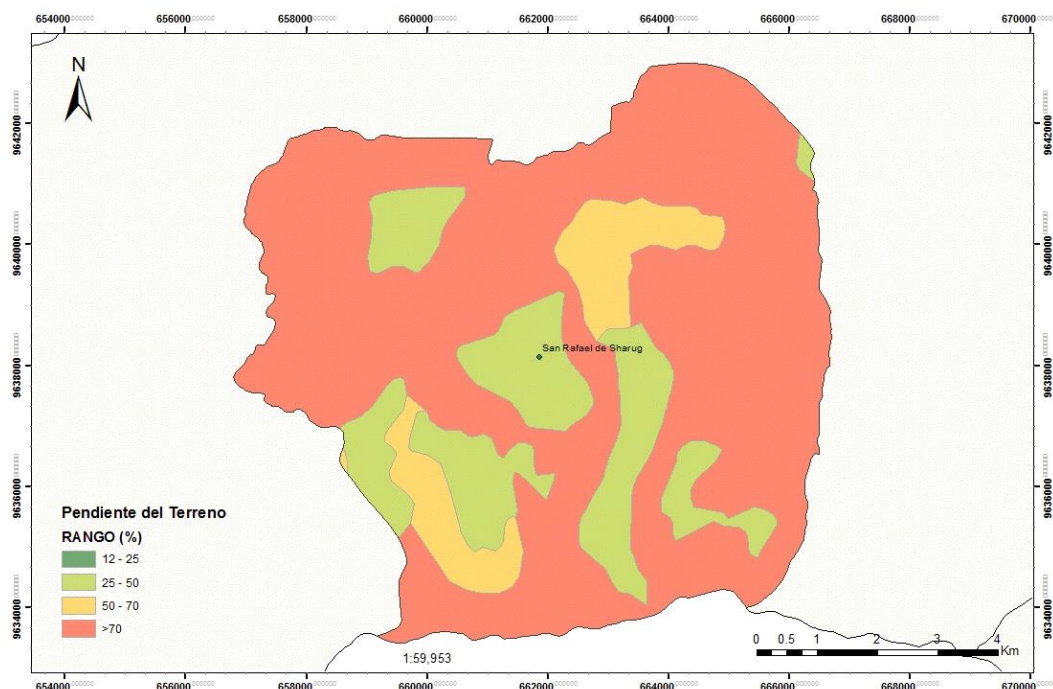
Densidad de Potencia Media Anual del Viento a 30 m



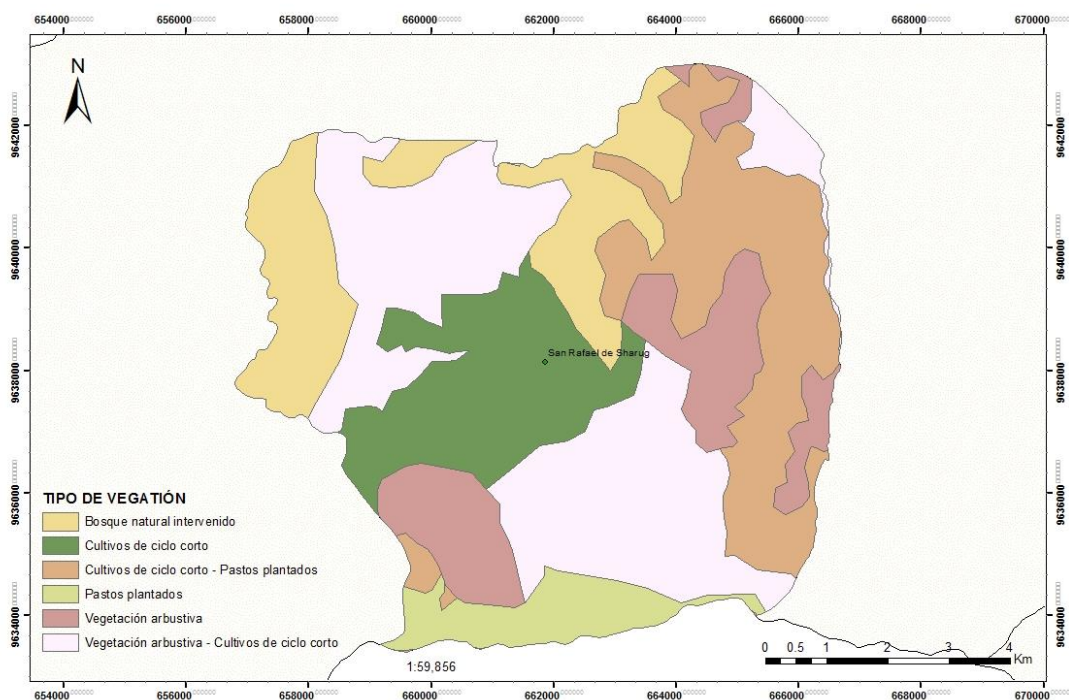
Fuente de Datos: MEER, 2013; Edición: Autora

Anexo 3. Mapas Topográficos de San Rafael de Sharug

PENDIENTE DEL TERRENO DE SAN RAFAEL DE SHARUG



VEGETACIÓN DE SAN RAFAEL DE SHARUG



Anexo 4. VantageVue Wireless Weather Station



Fotografías de la estación meteorológica en San Rafael de Sharug. Fecha: 19 de octubre de 2016



Anexo 5. Resumen Presupuestario de Linea Rural Monofásica



Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A.
Cuenca - Ecuador

INFORMACION ECONOMICA DEL PROYECTO PRES. INVERSIONES

1. CARACTERISTICAS GENERALES

PROYECTO: R 00003 KM DE LINEA RURAL: 1F2C 1*4(4)
PROVINCIA: AZUAY
CANTON: CUENCA
PARROQUIA: BELLAVISTA
TIPO DE OBRA: NUEVA CUENTA PRESUPUESTARIA:

2. PARAMETROS DE CALCULO

	#Ord.	Sec	Fecha Vigencia
Precio Materiales	21	1	15/06/2016
Precio Mano de Obra	45		01/02/2016
Cientes: Nuevos	0		FD 1.
Antiguos	0		FDT 0.000

COSTO TOTAL DEL PROYECTO SIN ESTUDIOS: 9,743.59 CON ESTUDIOS: 10,218.89

3. RESUMEN PRESUPUESTARIO MATERIALES EN USD

Material Nuevo	5,733.67	10. % IMPREVISTOS x MATERIALES	573.37
Material Eq. Medición	0.00		
Material Reutilizados....	0.00	15. % ADMINISTRACION x MATERIALES	860.05
Material Reingresados.	0.00		
SUBTOTAL MATERIALES	5,733.67	TOTAL MATERIALES..	7,167.09

4. RESUMEN PRESUPUESTARIO MANO DE OBRA EN USD

MONTAJE		DESMONTAJE		DESMONTAJE-MONTAJE	
Por MOC	1,325.76	Por MOC	0.00	Por MOC	0.00
Por MONC	654.10	Por MONC	0.00	Por MONC	0.00
Medidores	0.00				
Total Mont. **	1,979.86	Tot.I Desm. **	0.00	Total MonDes **	0.00

5. **TRANSPORTE** A Sitio 359.06
A Bodega 0.00

Total por Transpc 359.06

6. RESUMEN TOTAL EN USD

Costo Total Proyecto Mat+MO+Transp.	9,506.11	Impuestos SIDE:	0.0
12 <u>% IVA ** (Mano de Obra)</u>	237.58		
		MONC por Usuario	654.10
Costo Total Proyecto con IVA +SIDE	9,743.69	COSTO POR CLIENTE TOTALES	9,743.59

7. **ESTUDIOS** 5. % ESTUDIOS .. 475.30

8. GARANTIAS, ACOMETIDAS Y MEDIDORES EN USD Precio Unitario sin IVA Precio Total con IVA

Garantia de Consumo 0.00 0.00

**** Items a los que se aplica el IVA**
Nota: Los precios unitarios y tasas, pueden cambiar sin previo aviso.



Anexo 6. Datos recolectados

Ejemplo de la tendencia de la velocidad del viento en el día pico, 5 de agosto de 2016

Fecha	Hora	Velocidad (m/s)	Dirección	Corrida del viento (,01 km)	Velocidad pico (m/s)	Dir. De velocidad pico
5/8/2016	12:00 AM	3.6	ESE	6.44	7.2	ESE
5/8/2016	12:30 AM	6.7	E	12.07	13	E
5/8/2016	1:00 AM	9.4	E	16.9	14.3	ENE
5/8/2016	1:30 AM	8.9	E	16.09	15.2	E
5/8/2016	2:00 AM	8.5	E	15.29	15.2	E
5/8/2016	2:30 AM	8.5	E	15.29	14.3	E
5/8/2016	3:00 AM	8.9	E	16.09	16.1	E
5/8/2016	3:30 AM	8	E	14.48	13.4	E
5/8/2016	4:00 AM	11.2	E	20.12	18.8	ENE
5/8/2016	4:30 AM	11.2	E	20.12	17.4	E
5/8/2016	5:00 AM	11.2	E	20.12	17.4	E
5/8/2016	5:30 AM	11.2	E	20.12	16.5	E
5/8/2016	6:00 AM	10.3	E	18.51	15.6	E
5/8/2016	6:30 AM	11.6	E	20.92	19.7	ENE
5/8/2016	7:00 AM	14.3	E	25.75	21.9	E
5/8/2016	7:30 AM	14.3	E	25.75	20.6	E
5/8/2016	8:00 AM	12.5	E	22.53	19.2	E
5/8/2016	8:30 AM	12.1	E	21.73	17.4	ENE
5/8/2016	9:00 AM	11.6	E	20.92	19.2	E
5/8/2016	9:30 AM	9.4	E	16.9	14.8	E
5/8/2016	10:00 AM	7.2	E	12.87	14.3	E
5/8/2016	10:30 AM	4	WSW	7.24	7.2	WSW
5/8/2016	11:00 AM	3.1	W	5.63	5.4	WSW
5/8/2016	11:30 AM	3.1	W	5.63	5.4	WSW
5/8/2016	12:00 PM	1.8	WNW	3.22	5.8	WSW
5/8/2016	12:30 PM	1.8	WNW	3.22	4.5	WSW
5/8/2016	1:00 PM	1.3	WNW	2.41	4	WSW
5/8/2016	1:30 PM	1.3	W	2.41	3.6	WSW
5/8/2016	2:00 PM	0.9	W	1.61	2.7	WSW
5/8/2016	2:30 PM	0.9	WNW	1.61	2.7	WSW
5/8/2016	3:00 PM	0.4	WNW	0.8	3.1	WSW
5/8/2016	3:30 PM	0.9	WNW	1.61	2.2	W
5/8/2016	4:00 PM	0.4	W	0.8	2.2	WNW
5/8/2016	4:30 PM	0.9	W	1.61	2.2	WSW
5/8/2016	5:00 PM	0.9	W	1.61	3.1	W
5/8/2016	5:30 PM	0.9	W	1.61	2.2	WSW



5/8/2016	6:00 PM	0.9	W	1.61	1.8	WSW
5/8/2016	6:30 PM	0	W	0	0.9	WNW
5/8/2016	7:00 PM	0	W	0	0.4	W
5/8/2016	7:30 PM	0	E	0	0.9	E
5/8/2016	8:00 PM	0	ESE	0	0.9	E
5/8/2016	8:30 PM	0.4	E	0.8	1.3	NNE
5/8/2016	9:00 PM	0.9	E	1.61	4.5	E
5/8/2016	9:30 PM	1.8	ESE	3.22	4	ESE
5/8/2016	10:00 PM	1.8	ESE	3.22	4.5	ESE
5/8/2016	10:30 PM	1.3	ESE	2.41	5.4	ENE
5/8/2016	11:00 PM	0.4	ESE	0.8	2.2	E
5/8/2016	11:30 PM	1.8	ESE	3.22	4.5	ENE

Ejemplo de la tendencia de la velocidad del viento para un día promedio

Fecha	Hora	Velocidad (m/s)	Dirección	Corrida del viento (,01 km)	Velocidad pico (m/s)	Dir. De velocidad pico
5/26/2016	12:00 AM	0.9	NNE	1.61	2.2	NNE
5/26/2016	12:30 AM	0.9	NE	1.61	1.8	NE
5/26/2016	1:00 AM	0.9	NE	1.61	1.8	ENE
5/26/2016	1:30 AM	1.3	ENE	2.41	2.2	NE
5/26/2016	2:00 AM	0.9	ENE	1.61	1.8	ENE
5/26/2016	2:30 AM	0.4	E	0.8	1.3	ENE
5/26/2016	3:00 AM	0	WSW	0	0.9	ENE
5/26/2016	3:30 AM	0	S	0	0.9	SSW
5/26/2016	4:00 AM	0	ESE	0	0.9	ESE
5/26/2016	4:30 AM	0	ESE	0	0.4	ENE
5/26/2016	5:00 AM	0	W	0	1.3	W
5/26/2016	5:30 AM	0.9	W	1.61	1.8	WSW
5/26/2016	6:00 AM	0.9	WSW	1.61	1.8	WSW
5/26/2016	6:30 AM	0	W	0	0.4	W
5/26/2016	7:00 AM	0.4	SE	0.8	0.9	SE
5/26/2016	7:30 AM	0	E	0	0.9	E
5/26/2016	8:00 AM	0.4	WSW	0.8	1.3	WSW
5/26/2016	8:30 AM	0	W	0	0.9	E
5/26/2016	9:00 AM	0	E	0	0.9	E
5/26/2016	9:30 AM	0.4	NE	0.8	1.3	NE
5/26/2016	10:00 AM	0.9	ENE	1.61	2.7	ENE
5/26/2016	10:30 AM	1.3	ENE	2.41	3.1	ENE
5/26/2016	11:00 AM	0.9	E	1.61	3.6	ENE



5/26/2016	11:30 AM	0.4	E	0.8	2.2	ENE
5/26/2016	12:00 PM	0.9	E	1.61	2.7	NE
5/26/2016	12:30 PM	0.4	E	0.8	2.2	E
5/26/2016	1:00 PM	0.4	E	0.8	2.7	ENE
5/26/2016	1:30 PM	0.4	E	0.8	1.8	ENE
5/26/2016	2:00 PM	0.4	E	0.8	2.7	ENE
5/26/2016	2:30 PM	0	SW	0	2.7	E
5/26/2016	3:00 PM	0.4	SSE	0.8	2.2	ESE
5/26/2016	3:30 PM	0.4	ENE	0.8	3.6	NNE
5/26/2016	4:00 PM	0.9	ENE	1.61	3.1	ENE
5/26/2016	4:30 PM	0	NE	0	1.3	ENE
5/26/2016	5:00 PM	0	E	0	0.9	NNE
5/26/2016	5:30 PM	0	NE	0	1.3	NNW
5/26/2016	6:00 PM	0	W	0	0.9	WSW
5/26/2016	6:30 PM	0.4	WSW	0.8	1.3	WSW
5/26/2016	7:00 PM	0.9	W	1.61	2.2	WSW
5/26/2016	7:30 PM	1.3	WSW	2.41	2.2	WSW
5/26/2016	8:00 PM	0.9	WNW	1.61	2.7	WSW
5/26/2016	8:30 PM	0.4	NW	0.8	1.3	NW
5/26/2016	9:00 PM	0.4	W	0.8	1.3	SE
5/26/2016	9:30 PM	0.4	W	0.8	1.3	W
5/26/2016	10:00 PM	0.4	W	0.8	0.9	W
5/26/2016	10:30 PM	0	SE	0	0.4	SSW
5/26/2016	11:00 PM	0	SE	0	0.4	SE
5/26/2016	11:30 PM	0.9	WSW	1.61	1.8	WSW